

# Teilflächenspezifische Aussaat bei Mais



# „Teilflächenspezifische Aussaat bei Mais - eine Marktübersicht und Handlungsoptionen“

Dr. Arndt Kunick, IAK Agrar Consulting GmbH

## **Abstract**

Zum Zweck der Etablierung des Verfahrens der teilflächenspezifischen Aussaat bei Mais hatte das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) die IAK Agrar Consulting GmbH beauftragt, die am Markt verfügbaren Angebote zu charakterisieren, eine Systematik zur Unterscheidbarkeit derselben zu erstellen sowie ausgewählte Anbieter und ihre Ergebnisse detailliert zu untersuchen. Des Weiteren galt es mithilfe einer qualitativen Umfrage den Status quo zur Anwendung dieses Verfahrens zu ermitteln. Der Abgleich dieser Ergebnisse mit jenen der Marktrecherche sollte den Handlungsbedarf für eine zielgerichtete Anwendung des Verfahrens aufzeigen. Darauf basierend waren Handlungsempfehlungen zur Erhöhung des Grades der Praxiseinführung dieser Technologie zu erarbeiten.

Die Marktrecherche offenbarte bei einem breiten Spektrum von Angeboten dieser Technologie grundlegende Unterschiede zwischen denselben. Deshalb wurde zur Differenzierung der Angebote eine Systematik entwickelt. Die als Dienstleistung angebotenen Lösungen ließen aufgrund ihrer Standardisierung reproduzierbare Ergebnisse erwarten. Daher wurden in dieser Gruppe Angebote, die sich methodisch unterscheiden, miteinander verglichen. Die Applikationskarten ähnelten sich dabei hinsichtlich der Klassifikation der Wachstumsbedingungen, der applizierten Saatmenge als auch des Variationsbereiches derselben nur mäßig. Das Anlegen eines Schlages im System und die Auswahl von Daten mithilfe von Algorithmen war jeweils leicht möglich. Die Klassifikation der Wachstumsbedingungen war nur bei zwei Anbietern in vollem Umfang zugänglich. In der Phase der Klassifizierung sowie beim Erstellen der Applikationskarte wurde dem Anwender die Möglichkeit einer Modifizierung gewährt. Die Algorithmen zur Berechnung beider Karten wurden nicht bekanntgegeben. Eine Validierung des Ergebnisses war aufgrund der Unzugänglichkeit der Satellitendaten und sonstiger Informationen nicht möglich. Die Applikationskarte konnte in gebräuchlichen Formaten exportiert werden. Die Nutzung der Anwendung wurde von den vier Anbietern gut unterstützt.

Die Nichtanwendung des Verfahrens begründeten die befragten Landwirte mit ungeeigneter Technik, geringer Bodenheterogenität, zu hohem Aufwand sowie schwierigem Datentransfer. Letzterer erwies sich beim Abgleich der Ergebnisse der Umfrage mit jenen der Marktrecherche als bedeutsame Erschwernis. Auch die abstrakte Beschreibung der Heterogenität, deren unklare Verwertung, die Intransparenz der Algorithmen und der verwendeten Daten sowie die nicht mögliche Validierung dürften die Annahme der Technologie enorm behindern.

Für die Erhöhung des Grades der Anwendung dieses Verfahrens in der landwirtschaftlichen Praxis ist der konkrete wirtschaftliche Nutzen aufzuzeigen und die einfache Integration in die betrieblichen Abläufe nachzuweisen. Zudem soll der Informationsgehalt der Heterogenitätsindikatoren und dessen Übertragung in eine Saatmengenentscheidung verdeutlicht werden.

Zum Erreichen dieses Zieles wird die Kooperation des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) und wissenschaftlicher Institutionen mit ausgewählten Betrieben und Anbietern empfohlen. Dabei ist zum einen das ökonomische Potenzial dieser teilflächenspezifischen Technologie durch vollumfängliche Demonstration desselben im Praxisbetrieb aufzuzeigen. Zum anderen soll die Integration des Verfahrens in die betrieblichen Abläufe auf der Grundlage von Betriebsführungen, Seminaren und Vorträgen aufgezeigt werden. Überdies sind durch angewandte Forschung Entscheidungshilfen zur Klassifizierung der standörtlichen Heterogenität und der Ableitung der Saatempfehlung bereitzustellen.

## Inhaltsverzeichnis

1	Problemstellung.....	9
2	Übersicht der Anbieter.....	10
3	Charakterisierung der angebotenen Lösungen .....	14
4	Systematik zur Vergleichbarkeit von Anbietern.....	33
5	Detailvergleich von Applikationskarten verschiedener Anbieter .....	35
6	Wissensstand zur teilflächenspezifischen Aussaat .....	49
7	Ergebnisse einer qualitativen Umfrage zur Anwendung des Verfahrens der teilflächenspezifischen Aussaat bei Mais.....	63
8	Handlungsempfehlungen zur Unterstützung der sächsischen Landwirtschaft .....	70
9	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	73
	Literaturverzeichnis .....	76
A 1	Anhang.....	92

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Klassifikation von Angeboten zur teilflächenspezifischen Aussaat bei Mais (Entscheidungsbaum).....	34
Abbildung 2:	Applikationskarten ausgewählter Anbieter für den Standort Crostwitz. ....	41
Abbildung 3:	Applikationskarten ausgewählter Anbieter für den Standort Kunzwerda. ....	42
Abbildung 4:	Applikationskarten ausgewählter Anbieter für den Standort Memmendorf. ....	43
Abbildung 5:	Variationskoeffizient (s %) für die Saatempfehlungen ausgewählter Anbieter .....	44
Abbildung 6:	Ergebnisse der qualitativen Umfrage zum Status quo der Anwendung des Verfahrens der teilflächenspezifischen Aussaat bei Mais in der landwirtschaftlichen Praxis. ....	64
Abbildung 7:	Fragebogen für die Durchführung der qualitativen Umfrage. ....	69

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Ausgewählte Charakteristika der Angebote zur teilflächenspezifischen Aussaat bei Mais. .	11
Tabelle 2: Klassenabstand und Flächenanteil der Abstandsklassen (in v. H.) bei Applikationskarten verschiedener Anbieter im Vergleich zur Referenzklasse .....	37
Tabelle 3: Kennzahlen einer differenzierten Aussaatmenge (Körner/m <sup>2</sup> ) .....	40
Tabelle 4: Bewertungskriterien für den detaillierten Vergleich ausgewählter Anbieter. ....	47
Tabelle 5: Ergebnisse der qualitativen Umfrage zur Anwendung des Verfahrens der teilflächenspezifischen Aussaat (n = 16).....	66

## **Tabellenverzeichnis im Anhang**

Tabelle A 1: Zuordnung der Anbieter zum Klassifikationsschema. ....	92
Tabelle A 2: Parameter der Standorte und der Agronomie. ....	93

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung in der Arbeit
EC	BBCH-Skala
ECa	Apparent Electrical Conductivity
ESA	Europäische Weltraumorganisation (European Space Agency)
etc.	et cetera
FDA	Factorial Discriminant Analysis
GNSS	Globale Navigationssatellitensysteme (Global Navigation Satellite Systems)
IAK	IAK Agrar Consulting GmbH
IT	Informationstechnik
KNN	künstliches neuronales Netz
LfULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LAI	Leaf Area Index
n	Stichprobenumfang
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
nm	Nanometer
NRI	nahinfrarot (near-infrared)
OFR	On-farm Research
o. V.	ohne Verfasser
PLSR	Partial Least Squares Regression
REIP	Red-Edge Inflection Point
SaaS	Software as a Service
SFI	Soil Fertility Index
SR1	Simple Ratio Vegetation Index
Tab.	Tabelle in der Arbeit
Tab. A	Tabelle im Anhang der Arbeit
TKG	Tausendkorngewicht
v. H.	von Hundert
VNIRS	sichtbare und nahinfrarote Spektroskopie (visible and near-infrared spectroscopy)
VNIR	sichtbar und nahinfrarot (visible and near-infrared)
z. B.	zum Beispiel
zzgl.	zuzüglich

# 1 Problemstellung

Landwirtschaftliche Nutzflächen sind hinsichtlich der Merkmale des Bodens oft variabel gestaltet, so dass auch die Wachstumsbedingungen für die Kulturpflanzen unterschiedlich sind. Mit der fortschreitenden Digitalisierung in der Landwirtschaft ist es möglich geworden, diese kleinräumige Variation zu erfassen. So stehen z. B. seit dem Start der Sentinel-2-Erdbeobachtungssatelliten der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) im Jahr 2017 neue technische Möglichkeiten zur Verfügung. Das Satellitenpaar misst im Abstand von ungefähr fünf Tagen die Reflexion des Sonnenlichts von der Erdoberfläche im roten bis nahinfraroten Wellenlängenbereich. Aus den 13 Spektralkanälen dieser Bilder (Auflösung 10 x 10 m) werden Parameter des Pflanzenbestands abgeleitet. Weitere Datenquellen sind Messungen zur elektrischen Leitfähigkeit und zum Nährstoffgehalt des Bodens sowie zum Pflanzenwachstum infolge betriebsüblich durchgeführten Sensoreinsatzes und der Ertragskartierung. Mit Hilfe dieser Größen kann durch Bewirtschaftungsmaßnahmen die ortsspezifische Heterogenität, z. B. durch teilflächenspezifische Düngung, teils ausgeglichen werden.

Unter den klimatischen Bedingungen Mitteldeutschlands wird das Pflanzenwachstum oft durch das verfügbare Wasser im Boden limitiert. Weil Letzteres meist nicht direkt beeinflusst werden kann, scheint es sinnvoll, die Bestandsdichte der Wasserverfügbarkeit anzupassen. Von besonderer Bedeutung ist dieser Zusammenhang für Kulturarten, die nur einen Trieb bilden und damit hinsichtlich der Bestandsstruktur sehr beschränkt auf wechselnde Wachstumsbedingungen reagieren können. Beachtung findet hierbei aufgrund seines Anbauumfanges vor allem der Mais.

Das vor diesem Hintergrund entwickelte Verfahren der teilflächenspezifischen Aussaat soll es dem Landwirt ermöglichen, auf die standörtlichen Gegebenheiten mit einer Variierung der Aussaatstärke reagieren zu können. Um diese Technologie im praktischen Maisanbau zu etablieren, wurde die IAK Agrar Consulting GmbH vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) beauftragt, Handlungsempfehlungen zur Erreichung dieses Zieles zu erarbeiten. Im ersten Schritt galt es, die am Markt verfügbaren Angebote zu charakterisieren, eine Systematik zur verständlichen Unterscheidbarkeit derselben zu erarbeiten sowie im Rahmen eines Detailvergleiches ausgewählte Anbieter und ihre Ergebnisse näher zu untersuchen.

## **2 Übersicht der Anbieter**

Die Gewinnung von Informationen hinsichtlich verfügbarer Lösungen zur teilflächenspezifischen Aussaat bei Mais erfolgte über frei zugängliche Beschreibungen der Anbieter sowie die Befragung der im jeweiligen Unternehmen hierfür verantwortlichen Person in Form eines Telefoninterviews. Letzterem wurden definierte Kriterien zugrunde gelegt. Die so ermittelten Erkenntnisse werden nachfolgend als Exzerpt in tabellarischer Form sowie im Abschnitt 3 umfassend im Fließtext dargelegt.

Die Lösungen werden als Dienstleistung oder freie Anwendung angeboten (Tabelle 1). Satellitenbilder bilden überwiegend die Datenbasis und können teils durch externe Daten ergänzt werden. Der agronomische Hintergrund der Lösungen ist vielfältig, wobei der Anwender sein Wissen stets in die Saatentscheidung einfließen lassen kann.

**Tabelle 1: Ausgewählte Charakteristika der Angebote zur teilflächenspezifischen Aussaat bei Mais.**

Anbieter	Dienstleistung	Datenquelle intern	Datenquelle extern	Agronomischer Hintergrund	Modifikation der Applikationskarte	Validierung	Datenimport	Datenexport
Nextfarming	✓	Satellit	⊘	✓	✓	✓	Shape, KML	Shape, TF-XML
KWS	✓	Satellit	⊘	✓	✓	✓	Shape, KML	Shape, ISO-XML
Helm AG	⊘	Satellit	✓	⊘	✓	⊘	Shape, KML	Shape, ISO-XML
Agravis	✓	Satellit	✓	✓	✓	✓	Shape, KML	Shape, ISO-XML
BayWa	✓	Satellit	⊘	⊘	✓	✓	Shape, KML	Shape, TF-XML
Dehner	⊘	Satellit	✓	⊘	✓	⊘	Shape, ISO-XML	Shape, ISO-XML
EXAgT	✓	Satellit	⊘	✓	✓	✓	Shape, KML	Shape, ISO-XML
geo-konzept	✓	Satellit	⊘	✓	✓	✓	Shape, KML etc.	Shape, ISO-XML
Plantivo	✓	Satellit	✓	⊘	✓	⊘	Shape, KML etc.	Shape, ISO-XML
xFarm	⊘	Satellit	✓	⊘	✓	✓	Shape, KML	Shape, ISO-XML, etc.
365FarmNet	⊘	Satellit	✓	⊘	✓	⊘	Shape, ISO-XML	ISO-XML
Kleffmann Digital	✓	Satellit	✓	⊘	✓	⊘	Shape, ISO-XML	Shape, ISO-XML
Saatbau Linz	✓	Satellit	⊘	✓	✓	✓	Shape, ISO-XML, etc.	Shape, ISO-XML, etc.
Syngenta	✓	Satellit	✓	✓	✓	✓	Shape, KML	Shape, ISO-XML, etc.
Limagrain	✓	Satellit	⊘	✓	✓	✓	Shape, KML, etc.	Shape, ISO-XML
xarvio	✓	Satellit	✓	⊘	✓	⊘	Shape, ISO-XML	Shape, ISO-XML

Anbieter	Dienstleistung	Datenquelle intern	Datenquelle extern	Agronomischer Hintergrund	Modifikation der Applikationskarte	Validierung	Datenimport	Datenexport
Agromais	✓	Satellit	⊗	✓	✓	✓	Shape	Shape, ISO-XML, etc.
BAT Agrar	⊗	Satellit	✓	⊗	✓	⊗	Shape, ISO-XML, etc.	Shape, ISO-XML, etc.
Greiwing Agrar	✓	Satellit	⊗	✓	✓	⊗	Shape, KML	Shape, ISO-XML
OneSoil	⊗	Satellit	✓	⊗	✓	✓	Shape, KML	Shape, ISO-XML, etc.
Farmblick	✓	EM38-MK2	✓	⊗	✓	⊗	Shape	Shape, ISO-XML, etc.
Bayer	✓	Satellit	⊗	✓	✓	✓	Shape	Shape, ISO-XML, etc.
Greenspin	⊗	Satellit	✓	✓	✓	⊗	Shape, ISO-XML, etc.	Shape, ISO-XML, etc.
Solorrow	✓	Satellit	⊗	⊗	✓	⊗	Shape, ISO-XML	Shape, ISO-XML

✓ - trifft zu, ⊗ - trifft nicht zu

## **Beschreibung der in Tabelle 1 aufgeführten Charakteristika**

### *Anbieter*

Name der Firma, die eine Lösung zur Erstellung von georeferenzierten Karten zur teilflächenspezifischen Aussaat anbietet

### *Dienstleistung*

Kennzeichnung, ob die Kartenerstellung in Form einer Dienstleistung zur Verfügung gestellt wird

### *Datenquelle intern*

Nennung der über die Modulanwendung zugänglichen Datenquellen

### *Datenquelle extern*

Beschreibt die Möglichkeit des Anwenders, eigene georeferenzierte Daten in den Erstellungsprozess der Klassifikationskarte einfließen zu lassen

### *Agronomischer Hintergrund*

Zeigt, ob der vom Anbieter empfohlenen Saatmenge agronomisches Wissen zugrunde liegt

### *Modifikation der Applikationskarte*

Beschreibt die Möglichkeit des Anwenders, die Applikationskarte hinsichtlich ihrer Klassenanzahl und -besetzung sowie ihrer Geometrie zu modifizieren

### *Validierung*

Kennzeichnet die Erprobung des in der Anwendung integrierten agronomischen Wissens

### *Datenimport*

Charakterisiert das Format der im Rahmen der Kartenerstellung verwendeten Dateien

### *Datenexport*

Charakterisiert das Format der im Rahmen der Anwendung erstellten und an ein Terminal zu exportierende Datei

### 3 Charakterisierung der angebotenen Lösungen

#### Nextfarming

Für die Erstellung einer Applikationskarte auf Basis einer TalkingFields®-Karte kann der Anwender zwischen vier Varianten wählen:

- Anbaufläche bis 50 ha 383 EUR/Jahr und fällt schrittweise anteilig auf 3.296 EUR bei einer Anbaufläche von mehr als 4.000 ha. Das Software-Paket Nextfarming Pro kann als Lizenz erworben werden. Diese kostet bei einer
- Das Software-Paket Nextfarming Pro wird auch als Software-as-a-Service-Lösung (SaaS-Lösung) im Abonnement zum Preis von 166 EUR (bis 50 ha) bis 1.427 EUR (ab 4.000 ha) angeboten.
- Die Anwendung Nextfarming LIVE steht nur als SaaS-Lösung im Abonnement zur Verfügung. Hierbei fällt ein jährlicher Basisbetrag von 100 EUR zuzüglich 1 EUR/ha Betriebsfläche an.
- Zusätzlich wird die Erstellung der Karten als Dienstleistung angeboten. Hierbei kostet die alleinige Ausgabe der Applikationskarte 8,40 EUR/ha und in Kombination mit der TalkingFields®-Karte 11,50 EUR/ha.

Für die Anlage eines Schrages im System muss der Kunde dem Anbieter die Schlagkontur in Form einer KML- oder Shape-Datei zur Verfügung stellen. Die Angabe von Sortenbezeichnung, Nutzungsart und Möglichkeit der Bewässerung fließt mit in die Berechnung der Saatstärke ein. Dieses agronomische Wissen basiert auf den Ergebnissen langjähriger Feldversuche.

In jedem Fall wird die TalkingFields®-Basiskarte aus Bildern des Satellitensystems Sentinel-2 gebildet. Hier werden alle Vegetationszeiträume seit Einführung dieses Satellitensystems berücksichtigt. Mithilfe des Strahlungstransfermodells Soil Leaf Canopy (SLC) werden dabei aus sämtlichen Kanälen des Satellitenbildes Parameter des Pflanzenbestands (Blattfläche, Chlorophyllgehalt und Anteil brauner Blätter) abgeleitet. Das Modell berücksichtigt außerdem den Strahlungsverlauf der Sonne sowie das Aussehen der jeweiligen Feldkultur und des Bodenhintergrundes. Der auf 200 bis 400 Szenen basierende Index gibt die relative Vitalität bezogen auf den Biomassemittelwert des Schrages wieder. Theoretisch ist eine Variation von -100 bis +100 möglich, wobei diese meist im Bereich -40 bis +40 liegt. Das Kartenbild beschreibt zu 90 % die Wasserhaltefähigkeit des Bodens und erfasst zudem, im Gegensatz zu ECa-Daten, Effekte wie Vernässung und Nährstoffmangel. Details zur Berechnung des Index werden vom Anbieter nicht bekanntgegeben. Die TalkingFields®-Basiskarte ist nicht veränderbar. Anormale Daten werden im Rahmen der Erstellung dieser Karte entfernt (siehe oben). Die Aggregation der Daten erfolgt mithilfe geostatistischer Verfahren, die aus firmeninternen Gründen nicht genannt werden.

Nach dem Erstellen der TalkingFields®-Karte wird in der Version Live eine fünfstufige Applikationskarte berechnet und bei verfügbarer Übertragungsmöglichkeit direkt an das Terminal gesendet. Die Version PRO ermöglicht hingegen die Auswahl einer beliebigen Anzahl von Saatstufen. Der Anwender muss in beiden Fällen die mittlere Saatedichte selbst angeben. Im Fall der Inanspruchnahme einer vollumfänglichen Dienstleistung werden vom Anbieter im Vorfeld alle notwendigen Eckdaten vom Anwender abgefragt. Die dem Anwender mit entsprechenden Saatedichten angebotene stufenlose Applikationskarte ist in ihrer Geometrie sowie der Klassenanzahl und -besetzung modifizierbar. Diese Karte kann im Datenformat ESRI-Shape oder TalkingFields®-XML an ein Terminal übertragen werden.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter nicht beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt ([Link zur Homepage von agcocorp \(https://www.agcocorp.com\)](https://www.agcocorp.com)).

### **KWS**

Die Anwendung myKWS ist nur KWS-Kunden zugänglich und für diese kostenfrei. Im System wird ein Schlag durch Import einer Shape- oder KML-Datei oder durch freies Zeichnen angelegt. Die Angabe von Sortenbezeichnung, Nutzungsart, Bodentyp und Möglichkeit der Bewässerung legt die Grundlage für die Berechnung der Saatstärke. Dieses Wissen basiert auf den Ergebnissen langjähriger Feldversuche.

Als Datenbasis dienen Bilder vom Satellitensystem Sentinel-2, die den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) widerspiegeln. Es werden alle Daten aus den Vegetationszeiträumen der vergangenen fünf Jahre berücksichtigt. Ein Algorithmus entfernt anormale Daten vor der Verarbeitung, wobei der Nutzer zusätzlich einzelne Jahre selektieren kann.

Bei der Berechnung der Klassifikationskarte entscheidet ein Algorithmus über die Anzahl der Heterogenitätsklassen. Die Aggregation der Daten erfolgt durch Mittelwertbildung und ist nicht beeinflussbar. Nach Angabe von maximal fünf Saatzonen durch den Nutzer wird eine Applikationskarte mit hinterlegter Saatedichte angeboten, die in ihrer Geometrie sowie der Klassenanzahl und -besetzung modifizierbar ist. Diese Karte kann im Datenformat ESRI-Shape oder ISO-XML an ein Terminal übertragen werden.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter nicht beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://www.kws.com>).

### **Helm AG**

Für die Erstellung von Applikationskarten ist der Zugang zum Modul SKYFLD Pro erforderlich, der nach einer sechsmonatigen kostenfreien Nutzung der SKYFLD-Fast-Vollversion in Form eines Jahresabonnements erhältlich ist. Die Kosten betragen bei einer Fläche von bis zu 25 ha 5,50 EUR/ha und sinken schrittweise auf 1 EUR/ha bei einer Fläche ab 1.000 ha. Die Anlage eines Schlages im System erfolgt

durch Import einer Shape- oder KML-Datei oder durch freies Zeichnen. Der Anwendung sind keine agronomischen Regeln hinterlegt.

Für die Berechnung der Klassifikationskarte wird dem Nutzer der Zugriff auf dreijährige Daten des Satellitensystems Sentinel-2 gewährt, die den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) widerspiegeln. Zudem kann der Nutzer externe georeferenzierte Daten hinzufügen. Insgesamt können zehn Datenschichten berücksichtigt und gewichtet werden. Ein Algorithmus entfernt anormale Daten vor der Verarbeitung, wobei der Nutzer zusätzlich selektieren kann. Hinsichtlich der Aggregation der Daten verweist der Anbieter lediglich auf die Verwendung des k-nearest-neighbor-Algorithmus.

Das Erstellen der Applikationskarte liegt im Ermessen des Anwenders, wobei bis zu neun Saatstufen mit beliebigen Aussaatstärken belegt werden können. Die Polygone sind hierbei in ihrer Geometrie veränderbar und ergänzbar. Diese Karte kann im Dateiformat ESRI-Shape oder ISO-XML an ein Terminal übertragen werden. Dabei ermöglicht die Angabe von Maschinentyp (Arbeitsbreite, Reihenabstand) und Terminal (Exportmanager) durch Bildung einer adäquaten Ordnerstruktur die präzise Umsetzung der Applikationskarte.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter nicht beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://www.skyfld.com/de>).

### **Agravis Netfarming**

Die Anwendung steht in den Modulen „Freie Anwendungsplanung“ und „Maisaussaat“ zur Verfügung. In beiden Fällen wird eine Biomassekarte für 3 EUR/Jahr (Abonnement) bereitgestellt. Die Managementzonenkarte wird zum Preis von 6 EUR/ha Eigentum des Anwenders und kann mehrere Jahre genutzt werden. Die Applikationskarte für das Modul „Maisaussaat“ kostet 5 EUR/ha, die für das Modul „Freie Anwendungsplanung“ 3 EUR/ha. Im System wird ein Schlag durch Import einer Shape- oder KML-Datei oder durch freies Zeichnen angelegt. Die Angabe von Sortenbezeichnung, Nutzungsart, Bodenzahl und Möglichkeit der Bewässerung legt die Grundlage für die Berechnung der Saatstärke. Dieses Wissen basiert auf den Ergebnissen langjähriger Feldversuche mit den von der Firma Agravis empfohlenen Sorten.

Die Datenbasis zur Berechnung der Klassifikationskarte (Managementzonenkarte) umfasst Bilder des Sensorsystems Sentinel-2, die den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) widerspiegeln. Hierbei werden alle Vegetationszeiträume seit Einführung dieses Systems berücksichtigt. Alternativ kann die Erfassung der Biomasse an einem einzelnen Termin der Klassifikationskarte zugrunde gelegt werden. Hierbei wird kulturartenspezifisch ausschließlich der Zeitraum der Abreife berücksichtigt. Das Hinzufügen externer Daten zum Erstellungsprozess ist möglich. Ein Algorithmus entfernt anormale Daten

vor der Verarbeitung, wobei der Nutzer zusätzlich selektieren kann. Das Vorgehen zur Berechnung der Klassifikationskarte wird als firmeninternes Wissen betrachtet.

Im Modul „Maisaussaat“ wird dem Nutzer nach Angabe von maximal sieben Saatzonen eine Applikationskarte mit hinterlegter Saatchichte angeboten, die in Klassenanzahl und -besetzung modifizierbar ist. Im Fall der „Freien Anwendungsplanung“ legt der Anwender die Saatstärke in jeder Saatstufe selbst fest. Bei jeder Variante kann der Anwender die Geometrie der Polygone modifizieren. Die Applikationskarte kann im Datenformat ESRI-Shape oder ISO-XML an ein Terminal übertragen werden.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter nicht beschrieben. Auf Nachfrage werden On-Farm-Versuche erwähnt, die einen Ertragsvorteil in der Hohertragszone von bis zu 10 % und in der Niedrigertragszone von bis zu 2 % erbrachten. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://www.netfarming.de>).

## **BayWa**

Das Angebot kann in zwei Formen genutzt werden:

- Erwerb einer Software-Lizenz für 170 EUR/Jahr und zusätzlich der TalkingFields®-Basiskarte für 5 EUR/ha. Letztere ist als Eigentum des Anwenders langfristig nutzbar.
- Erstellung einer Applikationskarte ohne Lizenz in Form einer Dienstleistung durch den Anbieter. Die Kosten betragen in diesem Fall 12 EUR/ha, wobei die TalkingFields®-Karte nicht in den Besitz des Anwenders übergeht.

Für die Anlage eines Schrages im System muss der Kunde dem Anbieter die Schlagkontur in Form einer KML- oder Shape-Datei zur Verfügung stellen. Im System sind keine agronomischen Regeln hinterlegt. Die agronomischen Informationen, die in einer Saatempfehlung münden, werden in einem Beratungsgespräch vermittelt. Die Grundlage hierfür liefern Ergebnisse mehrjähriger Parzellen- und OFR-Versuche.

Die TalkingFields®-Basiskarte wird aus Bildern des Satellitensystems Sentinel-2 gebildet, wobei alle Vegetationszeiträume seit Einführung dieses Systems betrachtet werden. Mithilfe eines Modells werden aus allen Kanälen des Satellitenbildes Parameter des Pflanzenbestands abgeleitet und in einem Index vereint, der von Witterungs- und Fruchtarteneinflüssen bereinigt ist (vgl. Nextfarming). Details zur Berechnung desselben werden vom Anbieter nicht veröffentlicht. Die TalkingFields®-Basiskarte ist nicht veränderbar. Anormale Daten werden im Rahmen der Erstellung dieser Karte entfernt (siehe oben). Das Aggregieren der Daten erfolgt mithilfe geostatistischer Verfahren, die aus firmeninternen Gründen nicht genannt werden.

Die Applikationskarte kann unabhängig vom Verfahren ihrer Erstellung maximal fünf Saatzonen aufweisen. Das Festlegen der Saatedichte in jeder Zone obliegt dem Anwender. Der Anwender kann die Geometrie der Polygone modifizieren. Anschließend kann die Applikationskarte im Format ESRI-Shape oder TalkingFields®-XML an ein Terminal übertragen werden.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter nicht beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://www.baywa.de>).

### **Dehner Agrar**

Mit einer Registrierung auf der Homepage des Anbieters ist die Anwendung für 365 Tage zugänglich. Die Erstellung einer Klassifikationskarte kostet bei einer Fläche bis 500 ha 4 EUR/ha und die Applikationskarte 2 EUR/ha. Bis 1.000 ha liegen die Gesamtkosten bei 5,30 EUR/ha und bis 10.000 ha bei 4,70 EUR/ha. Im System wird ein Schlag durch Import einer Shape-, ISO-XML- oder KML-Datei oder durch freies Zeichnen angelegt. Der Anwendung sind keine agronomischen Regeln hinterlegt.

Die Klassifikationskarte basiert auf Daten des Satellitensystems Sentinel-2, die den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) widerspiegeln. Der Anwender muss die Biomassekarten aus den Vegetationszeiträumen der vergangenen sechs Jahre auswählen. Zudem kann der Anwender externe georeferenzierte Daten hinzufügen und die Datenschichten gewichten. Ein Algorithmus entfernt dabei anormale Daten vor der Verarbeitung. Die Daten werden über Mittelwertbildung aggregiert.

Bei der Erstellung der Applikationskarte kann der Anwender bis zu neun Saatzonen festlegen und diese mit einer Saatstärke hinterlegen. Die Geometrie der Polygone ist dabei modifizierbar. Diese Karte kann im Format ESRI-Shape oder ISO-XML an ein Terminal übertragen werden. Dabei ermöglicht die Angabe von Maschinentyp (Arbeitsbreite, Reihenabstand) und Terminal (Exportmanager) durch Bildung einer adäquaten Ordnerstruktur die präzise Umsetzung der Applikationskarte.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter nicht beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://www.dehner-agrar.de/>).

### **EXAgT GmbH**

Nach persönlicher Kontaktaufnahme zum Anbieter erstellt dieser in Absprache mit dem Anwender die Klassifikationskarte (3 EUR/ha) und die Applikationskarte (1,50 EUR/ha). Die Anlage eines Schlages erfolgt durch Import einer Shape- oder KML-Datei oder durch freies Zeichnen. Die Eigenschaften der Sorte sowie die Art der Nutzung beeinflussen die Saatempfehlung, wobei diese Erkenntnisse vom Saatzüchter stammen.

Die Klassifikationskarte basiert vorzugsweise auf Daten der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit des Bodens oder auf Bildern vom Satellitensystem Sentinel-2, aus denen der Index S2REP abgeleitet wird.

Hier werden seit Beginn dieser Satellitenmission Datensätze mit den Kulturarten Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen und Dinkel in trockenen Jahren berücksichtigt. Während der sechs Wochen vor der Ernte wird ein Satellitenbild ausgewählt. Anormale Daten werden so von der Verrechnung zur Klassifikationskarte ausgeschlossen. Die Daten werden über Mittelwertbildung aggregiert.

Die Applikationskarte erlaubt beliebig viele Saatzonen, sieben werden empfohlen. Der vom Saatzüchter angegebene Bereich der Saatchichte wird dieser Klassenanzahl zugrunde gelegt. Das Ergebnis wird mit dem Anwender persönlich besprochen und gegebenenfalls hinsichtlich Anzahl und Besetzung der Klassen modifiziert. Die Geometrie der Polygone wird dabei nicht verändert. Die Applikationskarte kann im Format ESRI-Shape oder ISO-XML an ein Terminal übertragen werden.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter nicht beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://home.exagt.de/>).

### **geo-konzept**

Auf der Plattform FARMInfo steht die Anwendung im Modul „Maisaussaat“ in den Varianten Light und Profi zur Verfügung. Für den Zugang zum Modul muss jeweils jährlich eine flächenabhängige Lizenz erworben werden. Diese kostet 10 EUR/ha bei einer Fläche von bis zu 50 ha und fällt auf 6 EUR/ha bei bis zu 1.000 ha Anbaufläche. Die Erstellung der Managementzonenkarte und der Applikationskarte durch den Anbieter kostet 4 EUR/ha in der Variante Profi. Beide Karten sind bei gültiger Lizenz im System dauerhaft abrufbar und die Managementzonen-Karte ist mehrjährig verwendbar. Sofern der Anbieter nur die Managementzonen-Karte liefert und der Anwender die Applikationskarte selbst erstellen will, erhält dieser den Zugang zum Modul „Freie Anwendung“ (Variante Light). Die Kosten hierfür betragen 2 EUR/ha. Der Download von Applikationskarten im Folgejahr kostet bei hinterlegtem Algorithmus 4 EUR/ha/Jahr und ohne diesen 1 EUR/ha/Jahr (zzgl. 1 EUR/ha Lizenzgebühr für das Modul Maisaussaat). Die Anlage eines Schlages im System erfolgt durch den Import einer ESRI-Shape- oder KML-Datei oder durch freies Zeichnen. Die Angabe von Sortenbezeichnung, Nutzungsart, Bodenwertzahl und Wasserspeicherfähigkeit des Bodens bildet die Grundlage für die Berechnung der Saatstärke. Dieses Wissen beruht gemeinhin auf den Ergebnissen langjähriger Feldversuche.

Bei beiden Varianten stellt der Anbieter eine Managementzonen-Karte bereit, die auf zehnjährigen Satellitendaten der Systeme Sentinel-1, Sentinel-2 und OneSat (Raster 30 x 30 m) beruht und den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) widerspiegelt. Es werden alle Daten aus den Vegetationszeiträumen berücksichtigt. Diese Karte ist nicht veränderbar. Ein Hinzufügen externer georeferenzierter Daten ist damit nicht möglich. Der Algorithmus zur Verarbeitung der Daten wird in seiner Bedeutung als firmeneigenes Wissen eingestuft.

Nach Angabe von bis zu elf Saatstufen muss der Anwender in der Variante Light im Modul „freie Anwendungsplanung“ denselben eine Saatkarte zuordnen. In der Variante Profi plant der Anbieter die Applikationskarte unter Berücksichtigung agronomischer Parameter (siehe oben) und stellt diese dem Anwender nach Absprache und möglicher Modifizierung zur Verfügung. Anschließend kann diese im Format ESRI-Shape oder ISO-XML an ein Terminal übertragen werden.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter nicht beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://geo-konzept.de/>).

### **Plantivo Agrarsoftware**

Die Anwendung Applikationskarten ist nach dem Anlegen eines Benutzerkontos auf der Homepage des Anbieters zugänglich. Die Klassifikations- und Applikationskarte kann auf zwei Wegen erstellt werden:

- Vom Anwender zum Preis von 3 EUR/ha/Jahr
- Als Dienstleistung des Anbieters zum Preis von 69 EUR je Arbeitsstunde

Das Anlegen eines Schlages im System erfolgt über den Import einer ESRI-Shape-, KML- oder ISO-XML-Datei oder durch freies Zeichnen. Der Anwendung sind keine agronomischen Regeln hinterlegt. Aus diesem Grund wurde diese auch nicht validiert.

Als Datenbasis dienen Bilder vom Satellitensystem Sentinel-2, die den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) widerspiegeln. Dabei werden alle Vegetationszeiträume seit Einführung dieses Systems berücksichtigt. Bei Ausfall desselben dienen Daten vom Satellitensystem Landsat-8 (Raster: 30 x 30 m) als Rückfallebene. Des Weiteren kann der Anwender dem Prozess der Kartenerstellung externe Daten hinzufügen und die Datenschichten gewichten. Ein Algorithmus entfernt anormale Daten vor der Verrechnung, wobei der Nutzer zusätzlich selektieren kann. Die Zusammenführung der Sensordaten erfolgt mithilfe des k-nearest-neighbor-Algorithmus und nachfolgender Mittelwertbildung. Weiterführende Informationen diesbezüglich werden als firmenintern betrachtet.

Nach Auswahl von bis zu vier Saatstufen, der mittleren Saatmenge für das Feld und der relativen Abweichung davon, wird vom Modul eine Applikationskarte mit hinterlegter Saatkarte ausgegeben. Diese ist hinsichtlich der Klassenbesetzung sowie der Geometrie der Polygone modifizierbar. Im Fall einer Dienstleistung erfolgt die Erstellung in Abstimmung mit dem Anwender. Die Applikationskarte kann in dem Format ESRI-Shape und ISO-XML an ein Terminal übertragen werden.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter nicht beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://www.plantivo.de/>).

## **xFarm**

Die Anwendung Präzisions-Landwirtschaft wird zurzeit in die Plattform integriert und auf Anfrage ab August 2024 für bestimmte Regionen verfügbar sein. Die Anlage eines Schläges im System erfolgt durch den Import einer Shape- oder KML-Datei oder durch freies Zeichnen. Die Leistung wird modular zu einem flächenunabhängigen Preis von 100 bis 150 EUR/Modul/Jahr angeboten. Die genaue Preisbildung ist jedoch noch offen. Der Anwendung ist kein agronomisches Wissen hinterlegt. Mit ihr werden jedoch Feldversuche im landwirtschaftlichen Produktionsprozess (OFR) durchgeführt, wobei die dabei gewonnenen Erkenntnisse fortlaufend in die Weiterentwicklung einfließen.

Als Datenbasis dienen Bilder vom Satellitensystem Sentinel-2, bei Bedarf Sentinel-1, PlanetScope (Raster: 3,7 x 3,7 m), Landsat (Raster: 30 x 30 m) und für spezielle Anwendungsfälle Bilder von Maxar, Airbus, Satellogic sowie Luftbildaufnahmen (Raster: jeweils 0,5 x 0,5 m). Dabei werden Wetterdaten über einen Zeitraum von 15 Jahren und Pflanzendaten über zehn Jahre berücksichtigt. Bodendaten basieren hingegen auf einmaligen Messungen. Vom System werden acht multispektrale Indizes angeboten, von denen drei ausgewählt und mit externen Daten verbunden werden können. Das Anbieten einer Hilfestellung zur Auswahl der Indizes ist denkbar, weil die sinnvolle Verwendung derselben an spezifische Stadien des Pflanzenwachstums gebunden ist. Der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) wird bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt.

Zukünftig werden Bodenkarten mithilfe von Künstlicher Intelligenz (KI) erstellt. Satellitenfotos erfassen optische Bodenunterschiede und leiten daraus Zonen für die Entnahme von Bodenproben ab. Die Analyseergebnisse der Bodenproben werden dann der Bodenkarte hinzugefügt und ein Modell berechnet daraus Polygone mit hinterlegten Bodenparametern (z. B. Bodenart, pH-Wert). Dieser Service wird aktuell noch außerhalb des xFarm-Systems angeboten, so dass die Daten diesem extra zugeführt werden müssen.

Aus einem individuell erstellten Satz von Datenschichten (z. B. Biomasse-, Wetter-, Bodendaten, historische Ertragskarten), die gewichtet werden können, erstellt ein Algorithmus die Klassifikationskarte. Anomalien infolge von Wolken, Wolkenschatten, Hagelschaden und fehlerhaften Satellitendaten werden standardmäßig entfernt. Das Erkennen von Sortenunterschieden und Feldteilungen erfolgt auf Anfrage. Zudem ist eine manuelle Selektion möglich. Die verschiedenen Datenschichten werden unter Verwendung des k-nearest-neighbor-Algorithmus zusammengeführt und durch Mittelwertbildung aggregiert.

Der Anwender erstellt die Applikationskarte hinsichtlich der Anzahl der Saatzonen sowie der Saatedichte in freier Entscheidung, wobei er die Geometrie der Polygone verändern kann. Diese Karte ist im Format ESRI-Shape, ISO-XML, John Deere und Trimble an ein Terminal übertragbar.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter nicht beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://xfarm.ag/de>).

### **365FarmNet**

Der Zugang zur Anwendung erfolgt über die Registrierung auf der Homepage des Anbieters. Das Angebot liegt in den Varianten CropView und Applikationskarte vor. Letztere kostet flächenunabhängig 9,99 EUR/Monat. Die Kosten für die Variante CropView betragen bei einer Betriebsfläche bis 50 ha 18,75 EUR/Monat, bis 100 ha 31,25 EUR/Monat und 140,63 EUR/Monat bei 1.000 ha. In beiden Fällen ist für den Export der Applikationskarte der Erwerb der Anwendung ISO-XML erforderlich. Diese kostet bei 50 ha Betriebsfläche 2,40 EUR/Monat, bei 100 ha 4 EUR/Monat und bei 1.000 ha 18 EUR/Monat. Die Anlage eines Schlags im System erfolgt durch das Hinzufügen einer Shape- oder ISO-XML-Datei. Dem Angebot sind keine agronomischen Regeln hinterlegt. Deshalb wurde dieses auch nicht validiert.

Das Modul CropView basiert auf Daten des Satellitensystems Sentinel-2, die den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) widerspiegeln. Dabei stehen die Daten aller Vegetationszeiträume seit Einführung dieses Systems zur Verfügung. Im Modul Applikationskarte kann der Anwender ausschließlich externe georeferenzierte Daten verarbeiten. Beide Varianten können nicht miteinander kombiniert werden. Ein Algorithmus verwirft fehlerhafte und anormale Daten (z. B. Bewölkung, Hagelschaden, Feldteilung), wobei auch eine manuelle Selektion möglich ist. Detaillierte Informationen zur Zusammenführung und Aggregation der Daten werden als firmenintern angesehen.

Die Erstellung der Applikationskarte liegt ausschließlich in der Verantwortung des Anwenders, wobei in der Version CropView bis zu fünf Saatstufen und in der Version Applikationskarte bis zu zehn Saatstufen mit entsprechenden Saatkichten hinterlegt werden können. Eine Modifikation der Geometrie der Polygone ist möglich. Die erstellte Applikationskarte kann im Format ISO-XML an ein Terminal übertragen werden.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter nicht beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://www.365farmnet.com>).

### **Kleffmann Digital RS**

Das Angebot ist über die Plattform MyDataPlant zugänglich. Die Kosten betragen bei einer Fläche von bis zu 250 ha 4 EUR/ha/Jahr für die Klassifikationskarte und 2 EUR/ha/Jahr für die Applikationskarte. Mit zunehmendem Flächenumfang sinken diese auf 1,60 und 0,80 EUR/ha/Jahr bis 5.000 ha. Die Anlage eines Schlags im System erfolgt durch das Hinzufügen einer Shape-, ISO-XML- oder KML-Datei oder durch freies Zeichnen. Der Anwendung sind keine agronomischen Regeln hinterlegt. Deshalb wurde diese auch nicht validiert.

Die Anwendung bietet zwei Möglichkeiten der Kartenerstellung:

- Der Anbieter gibt zwei kulturunabhängige Biomassekarten im Zeitraum der Abreife vor.
- Der Anwender kann zwei Biomassekarten aus dem Portal wählen oder zwei Karten mit georeferenzierten Daten externer Herkunft hinzufügen.

Die Datenbasis des Anbieters umfasst Bilder des Satellitensystems Sentinel-2 und privater Satellitenanbieter (nicht benannt), die den Kleffmann Difference Vegetation Index (KDVI) widerspiegeln. Dieser Index wird aus dem NDVI und Radardaten berechnet, die genaue Definition wird als firmeneigenes Wissen betrachtet. Interne und externe Daten können vor ihrer Verrechnung zur Klassifikationskarte gewichtet werden. Ein Algorithmus verwirft fehlerhafte und anormale Daten (z. B. Bewölkung, Hagelschaden, Feldteilung), wobei auch eine manuelle Selektion möglich ist. Informationen zur Zusammenführung und Aggregation der Daten werden als firmeninternes Wissen behandelt.

Bei der Gestaltung der Applikationskarte muss der Anwender nach Festlegung von bis zu fünf Saatstufen die Saatmenge für jede Zone definieren. Die Geometrie der Polygone ist modifizierbar. Die Karte ist in den Formaten ESRI-Shape und ISO-XML sowie in der speziellen Orderstruktur für das ausgewählte Gerät an ein Terminal übertragbar.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter mit einem Mehrertrag von bis zu 5 % und einer Einsparung an Saatgut von bis zu 15 % beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://kleffmann.digital>).

### **Saatbau Linz**

Die Anwendung Precision Seeding ist über die Webseite der Firma Farmdok zugänglich. Kunden der Saatbau Linz können die Anwendung kostenfrei nutzen. Andernfalls beträgt der finanzielle Aufwand bis zu einer Fläche von 500 ha 2,89 EUR/ha/Jahr und vermindert sich schrittweise auf 0,95 EUR/ha/Jahr bei einer Fläche ab 5.000 ha. Ein Schlag wird im System durch das Hinzufügen einer Shape-, KML- oder ISO-XML-Datei oder durch freies Zeichnen angelegt. Die Angabe von Sortenbezeichnung und Nutzungsart legt die Grundlage für die Berechnung der Saatstärke. Dieses Wissen beruht auf den Ergebnissen langjähriger Feldversuche in allen österreichischen Anbaugebieten. Bei Verwendung einer nicht von der Saatbau Linz vertriebenen Sorte ist eine im System verfügbare Sorte mit gleicher Reifezahl anzugeben.

Als Datenbasis dienen Bilder des Satellitensystems Sentinel-2, aus denen der Leaf Area Index (LAI) abgeleitet wird. Es werden alle Daten seit Einführung dieses Systems im Vegetationszeitraum berücksichtigt; diese Grundlage wird fortlaufend aktualisiert und erweitert. Ein Algorithmus verwirft fehlerhafte und anormale Satellitenbilder (z. B. Bewölkung, Hagelschaden, Feldteilung). Die Daten werden über

Mittelwertbildung aggregiert. Detaillierte Informationen hierzu werden als firmenintern betrachtet. Die Klassifikationskarte wird vom Anbieter vorgegeben und kann vom Anwender nicht verändert werden.

Nach Angabe von maximal neun Saatstufen wird vom Modul eine Applikationskarte mit hinterlegter Saatdichte angeboten. In dieser kann der Anwender die Anzahl und die Besetzung der Klassen sowie die Geometrie der Polygone modifizieren. Die Karte ist im Format ESRI-Shape, ISO-XML und anderen Formaten mit spezieller Orderstruktur an ein Terminal übertragbar.

Die Aussagen zur Wirtschaftlichkeit des Angebotes beruhen auf Ergebnissen von mehrjährigen On-Farm-Versuchen in verschiedenen Regionen Österreichs. Dabei konnte bei Körnermais bei gleicher Saatmenge in der pannonischen und illyrischen Klimazone ein Mehrertrag von bis zu 10 % beobachtet werden. In der Zone des mitteleuropäischen Übergangsklimas (Raum Linz bis Melk) betrug der Vorteil bis zu 6 %. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf derselben Homepage wie die Anwendung hinterlegt (<https://www.farmdok.com/de/>).

## **Syngenta**

Die Anwendung Cropwise Planting ist nur für Saatgutkunden verfügbar und für diese kostenfrei. Der Anwender greift nicht auf die Plattform zu, sondern überträgt den Prozess der Kartenerstellung vollumfänglich einem Berater der Firma Syngenta. Dieser fragt zunächst in einem Beratungsgespräch notwendige Informationen und Anliegen ab und setzt diese dann entsprechend um. Nach Erstellung der Karten wird das Ergebnis mit dem Anwender besprochen und eventuelle Änderungen werden vorgenommen.

Ein Schlag wird im System durch den Import einer entsprechenden ESRI-Shape- oder KML-Datei oder durch freies Zeichnen angelegt. Die Angabe zu Sortenbezeichnung, Nutzungsart, Anbauregion und Möglichkeit der Bewässerung legt die Grundlage für die Berechnung der Saatstärke. Das agronomische Wissen resultiert aus Ergebnissen von 70 überregionalen Feldversuchen zu Sortenwahl und Saatdichte sowie aus On-Farm-Versuchen.

Die Datenbasis zur Berechnung der Klassifikationskarte umfasst Bilder des Satellitensystems Sentinel-2, die den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) widerspiegeln. Dabei werden alle Daten seit Einführung dieses Systems aus den Wachstumsstadien Blüte bis Abreife herangezogen. Wahlweise können georeferenzierte Daten externer Herkunft hinzugezogen werden. Ein Algorithmus filtert Datensätze mit Anomalien (z. B. Hagelschaden, Feldteilung) heraus, wobei erweitert die Möglichkeit einer manuellen Selektion angeboten wird. Detaillierte Informationen hinsichtlich der Zusammenführung und Aggregation der Datenschichten werden als firmenintern betrachtet.

Die Applikationskarte wird auf der Grundlage einer fundierten Bewertung der Variabilität des Feldes und Abgleich derselben mit umfangreichen Datenbankeinträgen aus Sortenversuchen erstellt. Anschließend erfolgt mit dem Anwender die Prüfung der Plausibilität von Saatmenge und Polygonstruktur. Mithilfe einer „Validierungsparzelle“ im Aussaatplan kann auf der Grundlage einer Ertragskartierung dieses Ertragsergebnis mit jenem der Standardsaatgutmenge verglichen werden. Die Karte ist im Format ESRI-Shape, ISO-XML und anderen Formaten mit spezieller Orderstruktur an ein Terminal übertragbar.

Vor der Aussaat wird auf der Basis von Feldvariabilität und sortenspezifischen Reaktionsmodellen der Mehrertrag bei teilflächenspezifischer Aussaat geschätzt und der voraussichtliche ökonomische Nutzen unter Berücksichtigung von Saatgutkosten und Preis des Erntegutes berechnet. Die Regelungen zum Datenschutz sind unter <https://www.cropwise.com> beschrieben.

### **Limagrain**

Die Anwendung ist auf der Plattform agrility durch den Erwerb einer Jahreslizenz im Wert von 200 EUR zugänglich. Kunden erhalten Rabattgutscheine abhängig von der gekauften Saatgutmenge von bis zu 100 %. Die Anlage eines Schlages im System erfolgt über den Import einer ESRI-Shape-, KML- oder KMZ-Datei oder durch freies Zeichnen. Die Angabe von Sortenbeschreibung, Nutzungsart, mittlerer Saatstärke und Möglichkeit einer Bewässerung (0, 100, 200, >200 mm) fließt in Simulationsrechnungen zur Bestimmung der Saatstärke ein. Dieses agronomische Wissen stammt aus mehrjährigen Feldversuchen zur Bestimmung der Saatkichte mit Limagrain-Sorten und kontinuierlicher Datenerhebung in der Praxis (Details sind firmenintern).

Die Datenbasis umfasst Bilder des Satellitensystems Sentinel-2, die den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) widerspiegeln. Hierbei werden alle Daten aus den Vegetationszeiträumen seit Einführung dieses Systems berücksichtigt. Diverse Algorithmen filtern anormale Daten heraus und erkennen Unterschiede zwischen Kulturarten, Sommerung und Winterung, Feldteilung etc. Zur Erstellung der Klassifikationskarte werden mit Boden- und Klimadaten das Wachstum und der Ertrag der vergangenen 30 Jahre simuliert. Das Ergebnis der Simulation wird mit den Satellitendaten verrechnet (Patent EP 3 661 346 B1). Detaillierte Angaben zur Zusammenführung und Aggregation der Daten werden als firmenintern betrachtet.

Die Klassifikationskarte wird vom Anbieter erstellt und ist nicht veränderbar. Ihre bis zu fünf Klassen bilden die Saatzonen der Applikationskarte. Der Abstand der mit jeweils einer Saatkichte hinterlegten Klassen zueinander ist nicht äquidistant. Der Anwender kann die Saatempfehlung modifizieren. Ebenso wird die Geometrie der Polygone zukünftig veränderbar sein. Die Applikationskarte ist im Format ESRI-Shape oder ISO-XML an ein Terminal übertragbar.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter mit einem Mehrertrag von durchschnittlich 3 % beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://www.lgseeds.de/>).

### **xarvio**

Nach einer Registrierung im xarvio Field Manager ist die Anwendung durch den Erwerb einer Lizenz für das Technologie-Paket Aussaat zugänglich. Die Kosten für das Abo-Modell betragen 3 EUR/ha/Jahr, wobei ab einer Fläche von 1.500 ha eine Preisbremse wirksam wird. Die Anlage eines Schlags erfolgt durch den Import einer ESRI-Shape oder ISO-XML-Datei oder durch freies Zeichnen. Der Anwendung sind keine agronomischen Regeln hinterlegt. Deshalb wurde diese auch nicht validiert.

Als Datenbasis dienen Bilder vom Satellitensystem Sentinel-2 und vor dessen Einführung vom System Planet (Raster: 3,7 x 3,7 m). Dabei werden mithilfe eines Modells aus allen Kanälen des Satellitenbildes Parameter des Pflanzenbestands (LAI, NDVI etc.) abgeleitet und in einem Index vereint. Der Anbieter erstellt auf der Basis von Biomassedaten aus den Vegetationszeiträumen der vergangenen zehn Jahre eine Ertragspotenzialkarte, die der Anwender nicht direkt beeinflussen kann. Er kann jedoch georeferenzierte Daten aus externen Quellen hinzufügen. Ein Algorithmus filtert dabei anormale Daten (z. B. Bewölkung, Hagelschaden, Sortenteilung) im Vorfeld der Analyse heraus. Historische Feldteilungen werden hierbei nicht erkannt. Detaillierte Informationen zur Verarbeitung der Daten werden als firmeninternes Wissen betrachtet.

Die Applikationskarte mit unveränderbaren fünf Saatstufen muss vom Anwender in eigener Verantwortung mit Saatedichten hinterlegt werden. Hierbei besteht die Möglichkeit, die Geometrie der Polygone zu verändern. Die Karte kann dann im Format ESRI-Shape, ISO-XML und in der Ordnerstruktur für alle relevanten Anbieter an ein Terminal übertragen werden.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter nicht beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://www.xarvio.com/>).

### **Agromais**

Die Anwendung SkySaat ist im Portal SkyTools nur für Saatgutkunden zugänglich und für diese kostenfrei nutzbar. Ein Schlag kann in diesem System durch den Import einer ESRI-Shape-Datei oder durch freies Zeichnen angelegt werden. Die Angabe von Sortenbezeichnung, Nutzungsart, Bodenart und Möglichkeit der Bewässerung legt die Grundlage für die Berechnung der Saatstärke. Dieses Wissen basiert auf den Ergebnissen mehrjähriger Feldversuche zum Einfluss von Sorte und Saatedichte.

Die Datenbasis liefern Bilder des Satellitensystems Sentinel-2, die den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) widerspiegeln. Es werden Daten der Vegetationszeiträume der vergangenen fünf

Jahre zur Verfügung gestellt. Ein Algorithmus entfernt anormale Daten vor der Verarbeitung, wobei der Nutzer zusätzlich selektieren kann. Nach dieser Korrektur müssen Daten aus mindestens drei Jahren übrigbleiben. Die Aggregation derselben erfolgt durch Mittelwertbildung und ist nicht beeinflussbar.

Nach Angabe von bis zu fünf Saatzonen durch den Nutzer wird eine Applikationskarte mit hinterlegter Saatkarte angeboten, die hinsichtlich der Anzahl und Besetzung der Klassen sowie ihrer Geometrie modifizierbar ist. Die Karte ist im Format ESRI-Shape, ISO-XML, KML, John Deere, Trimble und anderen gebräuchlichen Datenformaten an ein Terminal übertragbar.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter nicht beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://agromais.de/>).

### **BAT Agrar**

Der Zugang zur Anwendung führt über eine Kontaktaufnahme zu einem Außendienstmitarbeiter des Anbieters. Dieser verweist auf das Portal SKYFLD, wo nach einer Registrierung unter „Handelspartner: BAT Agrar“ der Service verfügbar ist. Die Kosten betragen bei einer Fläche von bis zu 100 ha 3,50 EUR/ha und sinken schrittweise bis auf 0,80 EUR/ha ab 3.000 ha Anbaufläche. Ein Schlag wird im System angelegt durch den Import einer entsprechenden ESRI-Shape-, ISO-XML- oder KML-Datei oder durch freies Zeichnen. Dieser Anwendung sind keine agronomischen Regeln zum Zweck einer Saatempfehlung hinterlegt. Der Service wird in drei Varianten angeboten:

- Bilder vom Satellitensystem Sentinel-2 aus drei Jahren, jeweils nach dem Auflaufen und vor der Ernte, dienen als Datenbasis, diese spiegeln den Normal Difference Vegetation Index (NDVI) wider.
- Eine externe Bodenprobekarte wird als Grundlage zur Erstellung der Klassifikationskarte herangezogen.
- Betriebseigene Ertragskarten aus mehreren Jahren können als Berechnungsgrundlage dienen.

Alle drei Varianten sind beliebig miteinander kombinierbar, wobei die einzelnen Karten gewichtet werden können. Anormale Datensätze werden von einem Algorithmus erkannt, müssen aber manuell entfernt werden.

Bei der Erstellung der Applikationskarte kann der Anwender bis zu neun Saatzonen festlegen und mit einer Saatmenge hinterlegen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, die Geometrie der Polygone zu modifizieren. Die erstellte Karte ist anschließend im Format ESRI-Shape, ISO-XML und KML an ein Terminal übertragbar.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter nicht beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://my.bat-agrar.de/>).

## **Greiwing Agrar GmbH**

Der Service ist über eine direkte Ansprache des Anbieters zugänglich und kostet inklusive der praktischen Umsetzung auf dem Feld 15 EUR/ha. Im System wird ein Schlag durch Import einer ESRI-Shape- oder KML-Datei oder durch freies Zeichnen angelegt. Die Angabe von Sortenbezeichnung, Nutzungsart, Bodenwertzahl und Möglichkeit der Bewässerung legt die Grundlage für die Berechnung der Saatstärke. Die Quelle des agronomischen Wissens wird als firmenintern betrachtet.

Als Datenbasis dienen Bilder des Satellitensystems Sentinel-2, die den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) widerspiegeln. Alle Daten seit Einführung des Systems für den Monat Juni werden zu einer Managementzonenkarte verarbeitet. Diese Klassifikationskarte bezieht der Anbieter von der Firma Agravis, so dass diese unveränderbar ist. Ein Algorithmus entfernt anormale Daten vor der Verarbeitung. Die Berechnung der Klassifikationskarte beruht auf einem komplexen Algorithmus, der zum Schutz des firmeninternen Wissens nicht bekanntgegeben wird.

Nach Angabe von bis zu fünf Saatzonen durch den Nutzer wird eine Applikationskarte mit hinterlegter Saatedichte angeboten, die hinsichtlich der Anzahl und Besetzung der Klassen sowie ihrer Geometrie modifizierbar ist. Diese Karte kann im Datenformat ESRI-Shape oder ISO-XML an ein Terminal übertragen werden.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter nicht beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://greiwing-agrar.de/>).

## **OneSoil**

Der Zugang zur Anwendung erfolgt über eine Registrierung auf der Homepage des Anbieters und ist für die Grundfunktionen kostenfrei. Um das Angebot umfassend nutzen zu können, muss ein flächenabhängiges Jahresabonnement zum Preis von 5 EUR/ha erworben werden. Im System erstellte Karten bleiben dem Anwender dauerhaft erhalten.

Die Anlage eines Schlages erfolgt über den Import einer ESRI-Shape- oder KML-Datei, das John Deere Operations Center oder durch freies Zeichnen. Dem System ist kein agronomisches Regelwerk hinterlegt. Die Validierung des Softwareprogramms erfolgte im Praxisbetrieb auf bisher 300.000 ha in der Ukraine, Argentinien und Brasilien bei den Kulturarten Weizen, Mais und Sonnenblume. Dabei wird je Zone ein Kontrollstreifen mit der Saatedichte der anderen Zonen angelegt. Das System bestimmt die Lage des Streifens nach Bodenhomogenität selbst. Dieser sollte höchstens fünf Druschbreiten breit sein, 100 m lang und maximal 10 % der Zonenfläche umfassen. Es müssen mindestens drei Kontrollstreifen angelegt werden. Nach der Ernte wird für jede Zone angegeben, wie viel Saatgut gespart und Mehrertrag gegenüber der Standardvariante erzielt wurde.

Die Datenbasis sind Bilder des Satellitensystems Sentinel-2, wobei diese den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) widerspiegeln. Hierbei stehen alle Daten der Vegetationszeiträume seit Einführung dieses Systems zur Verfügung. Des Weiteren können georeferenzierte Daten externer Herkunft hinzugezogen werden. Ein Algorithmus filtert anormale Daten (Hagelschaden, historische Feldteilung, Kulturarten- und Sortenteilung etc.) heraus. Des Weiteren wird eine wechselnde Rangfolge hinsichtlich der Ertragsfähigkeit der Zonen zwischen trockenen und feuchten Jahren erkannt. Ergänzend hierzu ist eine manuelle Selektion möglich. Die Daten werden durch Mittelwertbildung aggregiert. Detaillierte Informationen zur Verarbeitung der Daten werden als firmeninternes Wissen betrachtet.

Zur Erstellung der Applikationskarte stehen dem Anwender sieben Saatstufen zur Auswahl. Dabei muss dem System die mittlere Saatstärke für den Schlag mitgeteilt werden und die Software berechnet dann die Saatstärke für jede Zone. Diese Empfehlung ist modifizierbar, ebenso wie die Geometrie der Polygone. Die Applikationskarte ist im Format ESRI-Shape, ISO-XML und Shape für spezielle Ordnerstrukturen (z. B. rx-Ordner für John Deere; API-Operating Center) an ein Terminal übertragbar.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter mit bis zu +40 USD beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://onesoil.ai/de>).

### **Farmblick**

Der Anwender tritt mit dem Anbieter in Form einer fernmündlichen oder schriftlichen Anfrage in Kontakt. Die Anwendung kostet 18,20 EUR/ha bis 100 ha Anbaufläche, 17,30 EUR/ha bis 400 ha Anbaufläche und 16,80 EUR/ha bei über 400 ha Anbaufläche. Im System wird ein Schlag angelegt durch den Import einer ESRI-Shape-Datei oder durch freies Zeichnen. Der Anwendung sind keine agronomischen Regeln hinterlegt.

Die Datenbasis bildet die berührungslose Messung der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens bis in eine Tiefe von 1,1 m. Dabei wird das Feld im Abstand von 15 m befahren. Der Anwender kann zusätzlich Daten externer Herkunft einfließen lassen. Eine Gewichtung der einzelnen Datenschichten ist dabei nicht möglich.

Nach Auswahl von bis zu fünf Saatstufen muss der Anwender diese selbst mit entsprechenden Saatchichten hinterlegen. Die Geometrie der Polygone ist nicht veränderbar. Die Applikationskarte ist im Format ESRI-Shape, ISO-XML, Fendt-KML sowie über das John Deere Operation Center an ein Terminal übertragbar.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter nicht beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://www.farmblick.de/>).

## **Bayer**

Der Zugang zur Anwendung erfolgt über eine Registrierung auf der Plattform ClimateFieldView. Die Nutzung des gesamten Paketes ist im ersten Jahr kostenfrei, danach muss eine flächenunabhängige Jahreslizenz zum Preis von 499 EUR erworben werden. Das Anlegen eines Schlages erfolgt über den Import einer ESRI-Shape-Datei oder durch freies Zeichnen. Die Angabe der Sortenbezeichnung ist die Grundlage zur Berechnung der Saatstärke im Fall der Verwendung einer Sorte der Firma DeKalb.

Der Anbieter stellt als Datenbasis Bilder vom Satellitensystem Sentinel-2 zur Verfügung, die den Climate Crop Index (CCI) widerspiegeln. Dieser beschreibt, ähnlich dem NDVI, die grüne Biomasse. Der CCI ist jedoch korrigiert hinsichtlich des Einflusses des Bodenhintergrundes in frühen Wachstumsstadien und weniger anfällig gegenüber Sättigung bei dichter Vegetation. Deshalb erfasst er die Biomasse genauer und korreliert enger mit dem Kornertrag.

Die Leistung wird in zwei Varianten angeboten:

- Eine beliebige Biomassekarte kann ausgewählt und der Klassifikation der Heterogenität zugrunde gelegt werden.
- Die Daten aus den Vegetationszeiträumen der vergangenen sechs Jahre werden herangezogen und durch Mittelwertbildung aggregiert.

In beiden Varianten können externe Daten zur Hilfestellung angezeigt, jedoch nicht in die Verrechnung einbezogen werden. Ein Algorithmus schließt anormale Daten (Wolken, Ausreißer, Schlagteilung etc.) aus. Der detaillierte mathematische Hintergrund wird als betriebsintern betrachtet.

Nach der Auswahl von bis zu zwölf Saatstufen bietet die Anwendung im Fall der Verwendung einer Sorte der Firma DeKalb eine Applikationskarte mit hinterlegter Saatedichte an. Diese kann der Anwender hinsichtlich der Klassenbesetzung und der Geometrie der Polygone modifizieren. Bei der Verwendung einer anderen Sorte muss die Saatedichte vom Landwirt vorgegeben werden. Die Karte ist im Format ESRI-Shape, ISO-XML, Trimble oder KML an ein Terminal übertragbar.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter nicht beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://www.climatefieldview.de/>).

## **Greenspin**

Die Firma tritt nicht direkt an den Landwirt heran, sondern an Berater und Dienstleister. Die Registrierung erfolgt auf der Plattform Farmblick Community. Für den Landwirt werden Applikationskarten nur auf Anfrage erstellt. Abhängig von der Betriebsgröße betragen die Kosten 200 bis 600 EUR im Jahresabonnement und unterliegen einer Einzelfallentscheidung. Die Anlage eines Schlages im System erfolgt

über den Import einer ESRI-Shape, KML- oder ISO-XML-Datei oder durch freies Zeichnen. Dem System werden im Laufe des Jahres 2024 agronomische Regeln hinterlegt.

Die Datenbasis umfasst Bilder des Satellitensystems Sentinel-2, die den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) widerspiegeln. Optional können auch Bilder der Systeme Landsat (Raster 30 x 30 m) und Planet (Raster: 3,7 x 3,7 m) hinzugezogen werden. Hierbei können eine einzelne Biomassekarte oder eine Vielzahl dieser der Klassifikationskarte zugrunde gelegt werden. Dabei stehen alle Daten aus den Vegetationszeiträumen der vergangenen zehn Jahre zur Verfügung. In einem zweiten Ansatz kann die Klassifikationskarte ausschließlich aus georeferenzierten Daten externer Herkunft erstellt werden. Zukünftig wird die Kombination beider Ansätze möglich sein. Ein Algorithmus erkennt anormale Daten (z. B. Wolkenbesatz, Ausreißer, Schlagteilung) und entfernt diese. Die einzelnen Datensätze werden mithilfe des k-nearest-neighbor-Algorithmus zusammengeführt. Die Daten werden über Mittelwertbildung aggregiert.

Nach der Auswahl von bis zu fünf Saatstufen müssen dieselben vom Anwender mit einer Saatkarte hinterlegt werden. Die Geometrie der Polygone wird zukünftig modifizierbar sein.

Die Karte kann im Format ESRI-Shape, ISO-XML oder KML sowie mithilfe des John Deere Operations Centers oder des Agrirouters an ein Terminal übertragen werden.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter nicht beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://www.greenspin.de/de>).

### **Solorrow**

Der Zugang zur Plattform erfolgt durch das Anlegen eines unverbindlichen Benutzerkontos. Die Nutzung der Anwendung kostet bis zu einer Fläche von 50 ha 49 EUR und bis 1.000 ha 849 EUR im Jahresabonnement. Die Anlage eines Schlages im System erfolgt mithilfe einer automatischen Feldgrenzenerkennung, dem Import einer ESRI-Shape- oder ISO-XML-Datei oder durch freies Zeichnen. Dem System sind keine agronomischen Regeln hinterlegt.

Die Datenbasis sind Bilder des Satellitensystems Sentinel-2, die den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) widerspiegeln. Alle Daten der Vegetationszeiträume der vergangenen fünf Jahre werden herangezogen. Ein Algorithmus filtert anormale Daten im Vorfeld der Analyse heraus. Die Daten werden durch Mittelwertbildung aggregiert und können nicht vom Anwender beeinflusst werden.

Nach der Auswahl von bis zu zehn Saatstufen muss der Anwender die Saatkarte in jeder Saatzone selbst hinterlegen oder sich eine Dosierung auf Basis der Feldzonenunterschiede vorschlagen lassen. Dabei verteilt das System eine mittlere Saatmenge auf die Zonen entsprechend ihrem Potenzial, die Unterschiede zwischen den Saatstufen werden quantitativ beschrieben. Diese Empfehlung ist durch

den Anwender veränderbar, ebenso wie die Form der Polygone. Die Karte kann im Format ESRI-Shape, ISO-XML sowie mithilfe des John Deere Operations Centers oder des Agrirouters an ein Terminal übertragen werden.

Die Wirtschaftlichkeit des Angebotes wird vom Anbieter nicht beschrieben. Die Regelungen zum Datenschutz sind auf dessen Homepage hinterlegt (<https://www.solorrow.com/>).

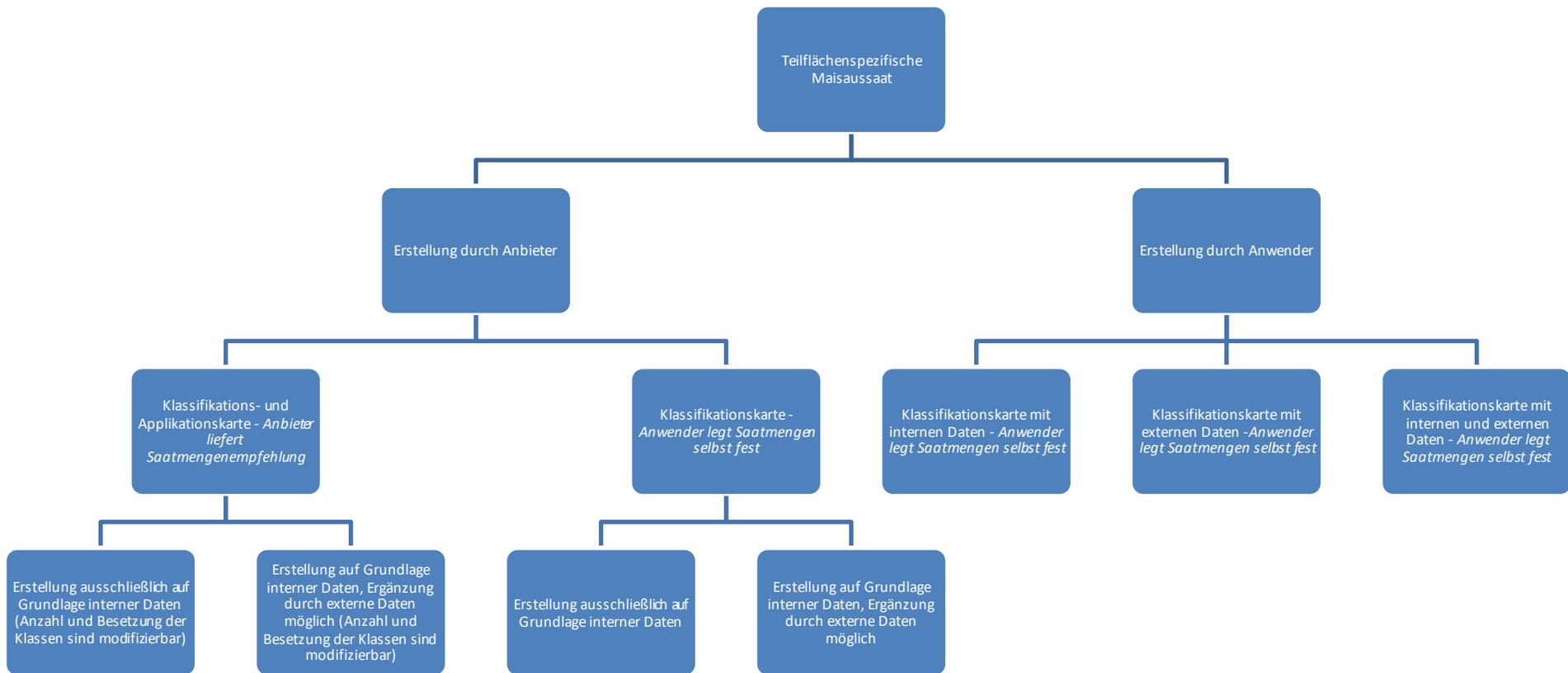
## 4 Systematik zur Vergleichbarkeit von Anbietern

Die zielgerichtete Anwendung des Verfahrens der teilflächenspezifischen Aussaat, als Basis für dessen umfassende Verbreitung in der landwirtschaftlichen Praxis, setzt das Wissen über die am Markt verfügbaren Angebote und deren Charakteristika voraus. Die Vielzahl an Angeboten sowie deren Verschiedenartigkeit wirkt hierbei jedoch erschwerend. Demgemäß wurde zum Zweck einer verständlichen Vergleichbarkeit der Angebote eine auf den Erkenntnissen der Marktrecherche basierende Klassifikation erstellt.

Grundsätzlich ist zu unterscheiden, ob die Karten, die die Heterogenität des Schlages widerspiegeln, mit Beteiligung des Anbieters erstellt werden oder ob diese Aufgabe vollständig dem Anwender obliegt (Abbildung 1):

- (Teil-)Dienstleistung des Anbieters: Es gibt Anbieter, die sowohl die Klassifikationskarte als auch die Applikationskarte erstellen und mit letzterer eine Saatmengenempfehlung aussprechen. Dabei können der Klassifikationskarte ausschließlich interne Daten zugrunde gelegt werden oder interne und externe Daten werden kombiniert (Abbildung 1). In beiden Fällen sind die Anzahl und Besetzung der Klassen modifizierbar. Andere Anbieter stellen nur die Klassifikationskarte zur Verfügung und der Anwender muss die Applikationskarte selbst mit Saatmengen hinterlegen (Abbildung 1). Auch hierbei wird unterschieden, ob die Daten ausschließlich vom Anbieter zur Verfügung gestellt werden oder ob der Anwender diese um externe Daten ergänzen kann.
- Erstellung durch den Anwender: Klassifikations- und Applikationskarte werden ausschließlich vom Anwender erstellt (Abbildung 1). Es wird differenziert, ob die Daten für die Klassifikation der standörtlichen Heterogenität vom Anbieter bereitgestellt werden, ob der Anwender ausschließlich externe Daten verwendet oder interne und externe Daten kombiniert. In allen Fällen obliegt die Bestimmung der Saatstärke dem Anwender.

Die beschriebenen Angebote (vgl. Kapitel 3) sind dieser Klassifikation zugeordnet worden (Tabelle A 1).



**Abbildung 1: Klassifikation von Angeboten zur teilflächenspezifischen Aussaat bei Mais (Entscheidungsbaum).**

## 5 Detailvergleich von Applikationskarten verschiedener Anbieter

Die Charakterisierung der am Markt verfügbaren Angebote hat gezeigt, dass die als Dienstleistung angebotenen Anwendungen auf wissenschaftlichen Algorithmen und Simulationsberechnungen beruhen und damit standardisiert sind. Deshalb war in dieser Kategorie eine vergleichende Betrachtung sich methodisch unterscheidender Angebote, vor allem hinsichtlich der Klassifizierung der Standortheterogenität wie auch der Saatmenge, von besonderem Interesse. Unter diesem Aspekt wurden die Anbieter EXAgT, KWS, Limagrain und NextFarming berücksichtigt.

Als Basis für diesen Vergleich wurde jeweils ein Schlag mit für die teilflächenspezifische Aussaat relevanter Bodenheterogenität und Niederschlagsmenge in Kunzwerda (Region Torgau), in Crostwitz (Region Bautzen) und in Memmendorf (Region Öderan) ausgewählt. Die Anbieter wurden mit der Erstellung einer Applikationskarte für jeden Schlag beauftragt. Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, hat der Auftraggeber wichtige Ausgangsbedingungen vorab definiert (Tabelle A 2).

Der detaillierte Vergleich der Anbieter erfolgte anhand von acht ausgewählten Kriterien: 1) Zonierung der Applikationskarten, 2) Aussaatmenge, 3) Güte der Klassifikationskarte, 4) Verfahren der Erstellung, 5) Transparenz, 6) Support, 7) Anwendung und 8) Kosten.

### Zonierung der Applikationskarten

Beim Vergleich der von den Anbietern beschriebenen Heterogenität der Wachstumsbedingungen diente die von der Firma NextFarming auf der TalkingFields®-Karte basierende Applikationskarte als Referenz, zu ihr wurden die Karten der anderen Anbieter in Beziehung gesetzt (Tab. 2). Die TalkingFields®-Karte [<https://www.talkingfields.de/alle-produkte/basiskarte/>] wurde ausgewählt, weil sie ein anerkanntes und leistungsfähiges Produkt mit hohem Marktanteil ist.

Die Applikationskarten wurden im Programm QGIS derart aufbereitet, dass für jede Rasterzelle der Klassenabstand (siehe oben) ermittelt und der Flächenanteil der Abstandsklassen erfasst werden konnte (Tab. 2).

Die Ergebnisse zeigten, dass die Klassifikation in 21,40 bis 34,05 % der Fälle identisch zugeordnet werden konnte. Eine Abweichung von einer Klasse je Richtung kam zu 8,77 bis 42,98 % vor. Von einem doppelten Klassenabstand (+2 oder -2) war 0,71 bis 28,24 % der Fläche betroffen. Ein Unterschied von 3 Klassen wurde in bedeutsamen Umfang nur in den beiden niedrigsten Klassifikationsstufen der Referenz mit bis zu 14,30 % beobachtet. In den beiden höchsten Referenzklassen betrug dieser in einem Fall 7,68 % und war in den anderen oftmals zu vernachlässigen. Eine vollkommen gegensätzliche Beurteilung der Ertragsfähigkeit (+4 oder -4) konnte je einmal mit einem Anteil von 2,22 und 3,98 % festgestellt werden (Tab. 2). In den übrigen Fällen lag dieser Wert meist unter einem Prozent.

Der Vergleich unter Tolerierung einer geringen Abweichung von  $\pm 1$  Klasse offenbarte, dass die ausgewählten Anbieter die Heterogenität der Wachstumsbedingungen in 59,82 bis 89,26 % der Fälle ähnlich einschätzten. Lediglich bei der Klassifikation der Firma EXAgT am Standort Crostwitz lag dieser Wert mit 48,26 % deutlich niedriger (Tabelle 2).

Eine gegensätzliche ( $\pm 4$ ) bis nahezu gegensätzliche ( $\pm 3$ ) Beurteilung der Wachstumsbedingungen war auf 0,76 bis 14,66 % der jeweiligen Anbaufläche zu verzeichnen.

Diese Beobachtungen und die unähnliche Verteilung der Klassenabstände zwischen den Applikationskarten offenbarten, dass sich die Klassifikation derselben nur mäßig ähnelte.

**Tabelle 2: Klassenabstand und Flächenanteil der Abstandsklassen (in v. H.) bei Applikationskarten verschiedener Anbieter im Vergleich zu Referenzklasse**

Next-Farming	Abstand	Crostwitz			Kunzwerda			Memmendorf		
		EXAgT	KWS	Limagrain	EXAgT	KWS	Limagrain	EXAgT	KWS	Limagrain
Referenzklasse		Anteil	Anteil	Anteil	Anteil	Anteil	Anteil	Anteil	Anteil	Anteil
1	0	2,44	0,32	5,60	2,06	0,05	9,40	3,76	1,08	7,18
1	1	2,12	7,08	3,02	4,89	1,33	2,92	5,41	2,08	5,35
1	2	4,22	4,32	0,74	8,50	5,91	1,95	11,37	6,64	5,83
1	3	1,98	0,00	0,00	1,87	10,06	0,00	1,29	11,75	2,95
1	4	0,96	0,00	2,22	0,02	0,00	3,98	0,01	0,29	0,54
2	-1	0,50	0,12	2,62	1,13	0,00	5,72	1,95	0,29	5,38
2	0	2,38	1,94	4,68	4,34	0,13	4,87	6,20	1,43	4,99
2	1	4,70	9,94	2,66	6,53	1,22	1,84	11,05	2,86	6,93
2	2	2,86	0,20	0,00	2,83	13,31	0,05	2,85	15,50	3,82
2	3	1,74	0,00	2,44	0,16	0,32	3,40	0,58	2,55	1,51
3	-2	0,66	0,00	1,92	0,75	0,00	3,28	0,48	0,02	2,92
3	-1	2,28	0,76	6,56	1,38	0,14	6,80	4,42	1,33	4,76
3	0	6,76	12,74	5,16	9,74	1,78	5,52	7,24	1,62	6,45
3	1	3,28	3,46	0,12	6,91	11,31	1,65	4,26	12,78	2,70
3	2	3,98	0,00	3,54	1,67	7,21	4,09	2,01	2,66	1,59
4	-3	1,74	0,00	2,04	0,43	0,00	1,04	0,12	0,00	0,92
4	-2	6,70	0,32	5,78	1,72	0,06	3,51	2,09	0,21	4,69
4	-1	9,28	16,02	11,10	7,72	0,97	9,46	5,99	0,75	8,20
4	0	5,18	9,02	1,38	13,03	10,55	4,26	4,19	13,57	2,05

		Crostwitz				Kunzwerda		Memmendorf		
4	1	2,44	0,00	5,06	3,30	14,62	4,33	5,14	2,99	1,68
5	-4	0,16	0,00	1,30	0,54	0,00	0,52	0,02	0,00	0,54
5	-3	5,94	0,76	1,68	1,51	0,00	1,46	1,14	0,07	3,96
5	-2	20,88	5,24	9,94	8,58	1,76	5,31	4,44	0,48	8,01
5	-1	2,26	26,08	14,20	5,51	7,66	10,42	8,84	8,63	5,75
5	0	4,64	1,78	6,76	4,88	11,60	4,21	5,15	10,41	1,33
Summe	-4	0,16	0,00	1,30	0,54	0,00	0,52	0,02	0,00	0,54
	-3	7,68	0,76	3,72	1,94	0,00	2,50	1,26	0,07	4,88
	-2	28,24	5,56	17,64	11,05	1,82	12,10	7,01	0,71	15,62
	-1	14,32	42,98	34,48	15,74	8,77	32,40	21,20	11,00	24,09
	0	21,40	25,80	23,58	34,05	24,11	28,26	26,54	28,11	22,00
	1	12,54	20,48	10,86	21,63	28,48	10,74	25,86	20,71	16,66
	2	11,06	4,52	4,28	13,00	26,43	6,09	16,23	24,80	11,24
	3	3,72	0,00	2,44	2,03	10,38	3,40	1,87	14,30	4,46
	4	0,96	0,00	2,22	0,02	0,00	3,98	0,01	0,29	0,54

## Aussaatmenge

Die Saatmenge für einen Schlag wurde mit der Sortenwahl auf den vom Saatzüchter empfohlenen Bereich festgelegt. Die Anbieter berechneten auf dieser Basis unter Einbeziehung agronomischer Parameter einen Wert für jede Saatstufe. Die zugrundeliegenden Algorithmen wurden nicht bekanntgegeben (vgl. Kapitel 3).

In Erweiterung der Erkenntnisse zur Klassifizierung der Wachstumsbedingungen soll im Folgenden die absolute Saatempfehlung, der Variationsbereich derselben sowie ihre durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert beschrieben werden.

Die mittlere Saatmenge lag am Standort Crostwitz in einem Bereich von 8,25 bis 8,81 Körner/m<sup>2</sup> und damit geringfügig unter jener des Standorts Kunzwerda mit 7,99 bis 9,09 Körner/m<sup>2</sup> (Tab. 3). Unter günstigeren Boden- und Niederschlagsbedingungen in Memmendorf (Tab. A1) war die Saatstärke mit 8,28 bis 10,07 Körnern/m<sup>2</sup> teils deutlich höher (Abb. 2 bis 4). Die Saatmenge divergierte an diesen Orten mit 0,55, 1,10 und 1,79 Körnern/m<sup>2</sup> demnach unterschiedlich stark. Die Empfehlung des Anbieters Li-magrain fiel dabei stets am niedrigsten aus (Abbildung 2 bis Abbildung 4; Tabelle 3).

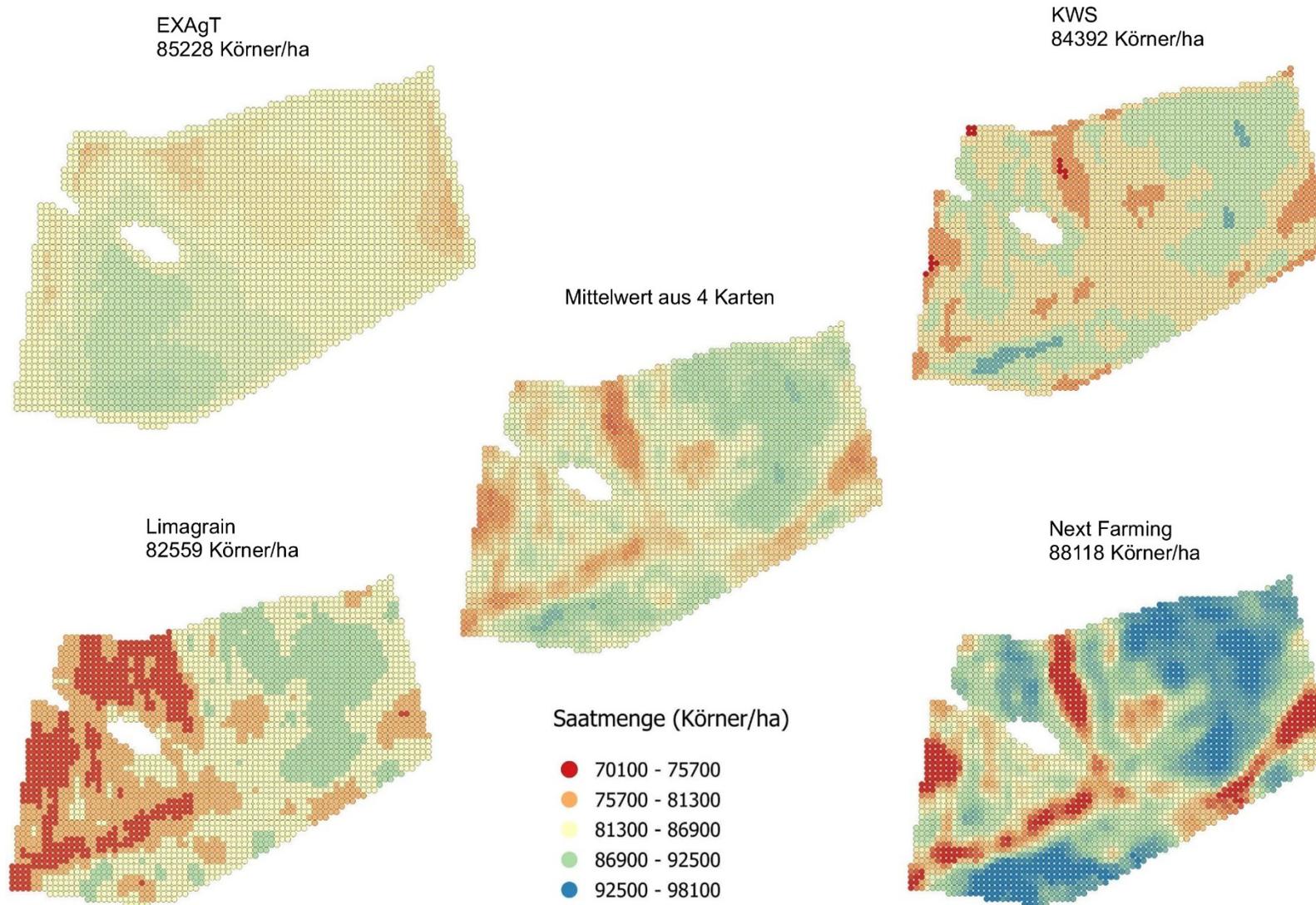
Die durchschnittliche Abweichung (s %) der spezifischen Aussaatmenge vom Schlagmittelwert lag meistens zwischen 4,76 und 11,83 % (Tabelle 3). Nur bei den Applikationskarten des Anbieters EXAgT variierte dieselbe mit 2,00 bis 2,18 % deutlich weniger (Tabelle 3). Die Variationsbreite der Aussaatmenge war hier mit einem Korn/m<sup>2</sup> kleiner gegenüber jenen der anderen Anbieter mit mindestens 1,4 Körnern/m<sup>2</sup>. Die stärkste Differenzierung erbrachte mit 3,69 Körnern/m<sup>2</sup> die Empfehlung des Anbieters NextFarming für den Standort Kunzwerda.

Die Ungleichheit der Saatempfehlungen der vier Anbieter, ausgedrückt durch den Variationskoeffizienten, war mit 1,2 bis 11,4 % am Standort Crostwitz am geringsten (Tabelle 5). In Kunzwerda und Memmendorf lag dieselbe mit 0,7 bis 15,0 % bzw. 2,0 bis 16,0 % in einem ähnlichen Bereich (Abb. 5). Ein Zusammenhang dieses Parameters mit der Klassifizierung der Wachstumsbedingungen konnte dabei nicht beobachtet werden. Dieses Ergebnis stützt damit die in der Klassifikationsanalyse gewonnene Erkenntnis von der Verschiedenartigkeit der von den Anbietern erstellten Applikationskarten (siehe oben).

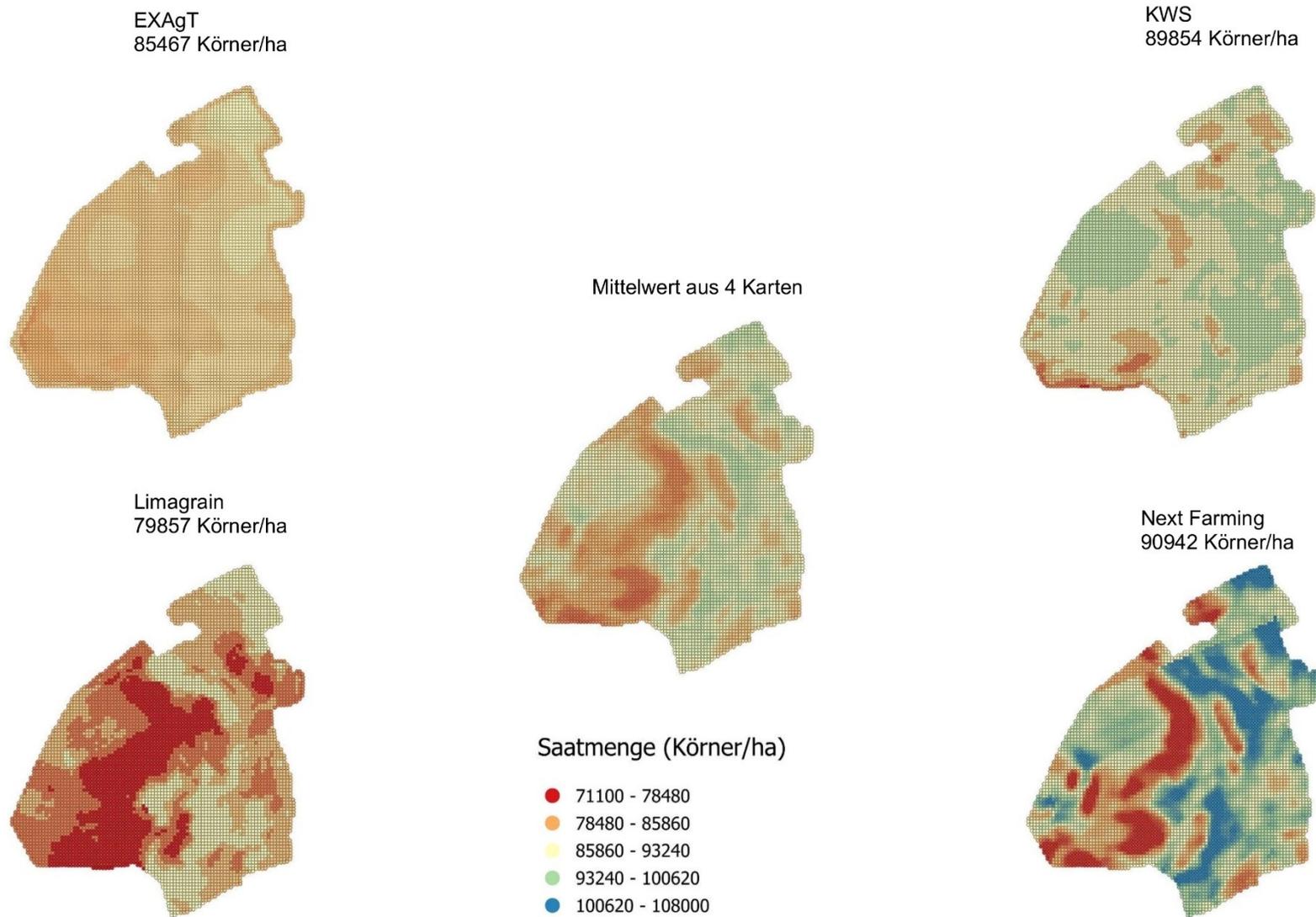
**Tabelle 3: Kennzahlen einer differenzierten Aussaatmenge (Körner/m<sup>2</sup>)**

<b>Standort</b>	<b>EXAgT</b>	<b>KWS</b>	<b>Limagrain</b>	<b>NextFarming</b>
Crostwitz	8,00 - 9,00 <sup>1</sup>	7,01 - 9,49	7,30 - 9,10	7,20 - 9,81
	8,52 <sup>2</sup>	8,44	8,26	8,81
	2,18 <sup>3</sup>	5,15	7,14	8,83
Kunzwerda	8,00 - 9,00	7,01 - 9,49	7,10 - 8,90	7,11 - 10,80
	8,55	8,99	7,99	9,09
	2,01	4,83	7,91	11,83
Memmendorf	9,00 - 10,00	8,26 - 10,74	7,60 - 9,00	7,56 - 10,80
	9,53	10,07	8,28	9,13
	2,00	4,91	4,76	10,86

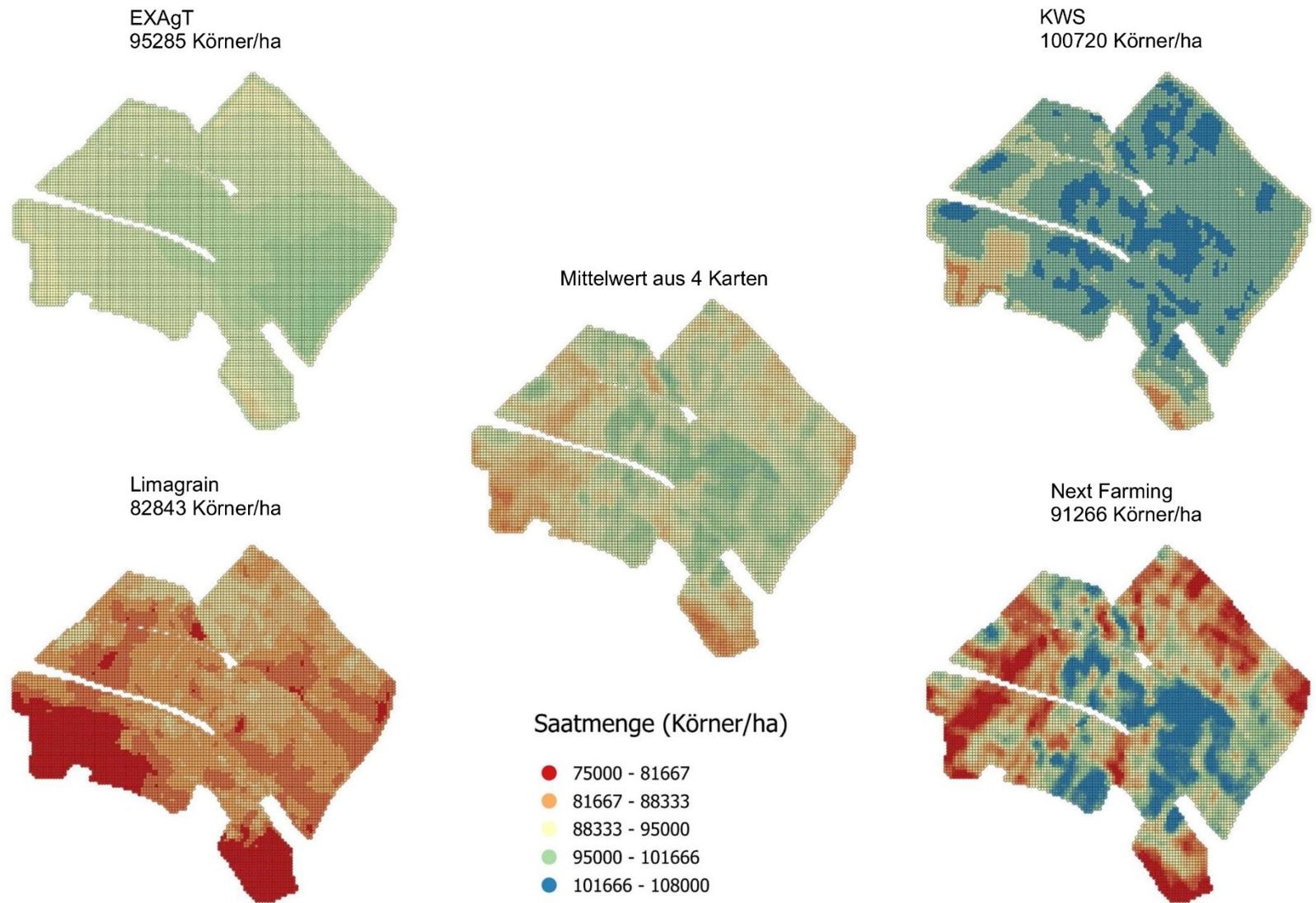
<sup>1</sup> - Variationsbreite, <sup>2</sup> - arithmetischer Mittelwert, <sup>3</sup> - Variationskoeffizient



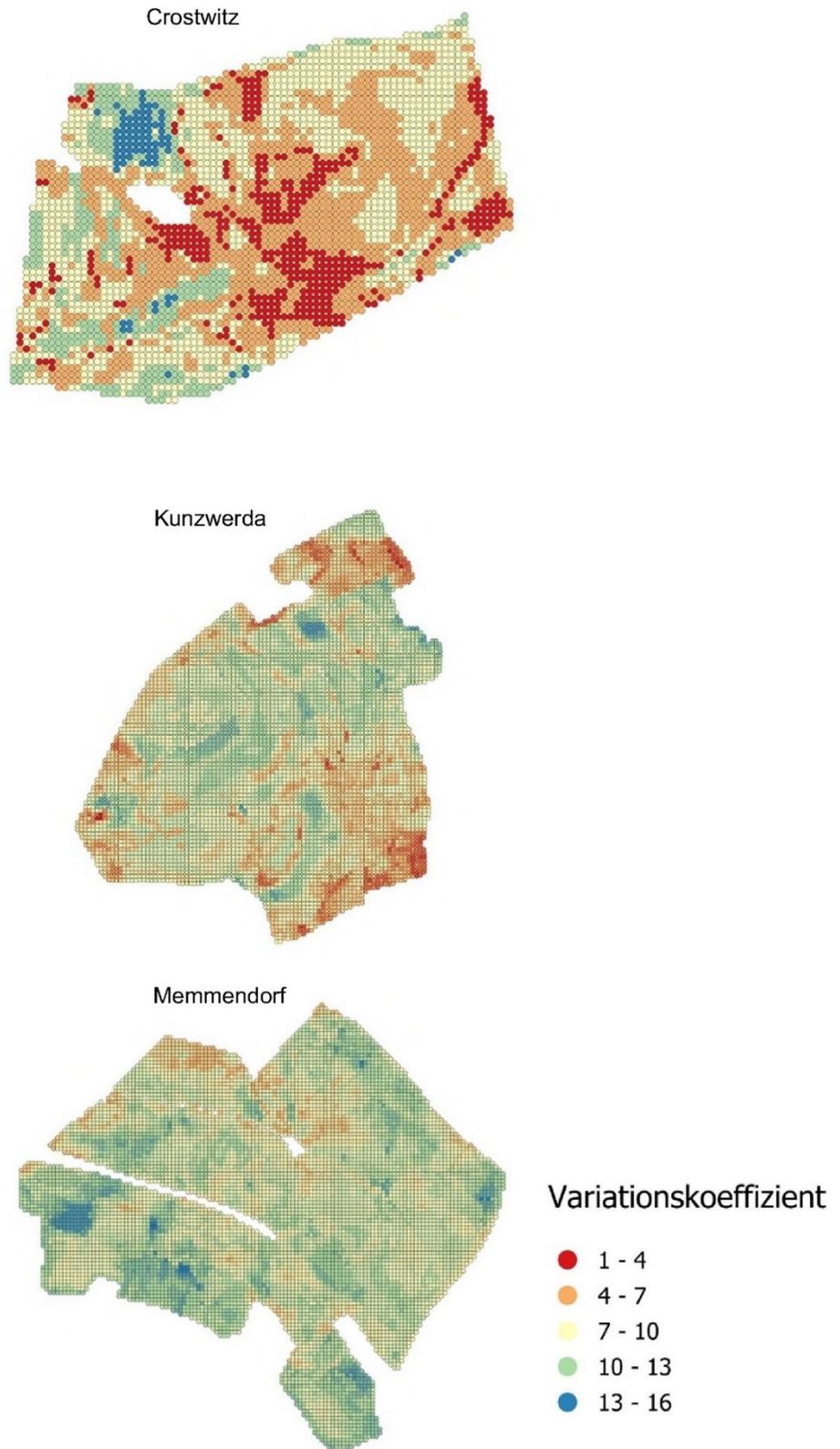
**Abbildung 2: Applikationskarten ausgewählter Anbieter für den Standort Crostwitz.**



**Abbildung 3: Applikationskarten ausgewählter Anbieter für den Standort Kunzwerda.**



**Abbildung 4: Applikationskarten ausgewählter Anbieter für den Standort Memmendorf.**



**Abbildung 5: Variationskoeffizient (s %) für die Saatempfehlungen ausgewählter Anbieter**

## **Bewertungskriterien für den Detailvergleich**

### **Güte der Klassifikationskarte**

Den Angeboten von KWS und Limagrain ist gemein, dass für den die Heterogenität der Wachstumsbedingungen beschreibenden Index kein Wertebereich angegeben wird (Tabelle 4). Bei EXAgT und NextFarming wird dieser auf Wunsch in Form einer digitalen Klassifikationskarte zur Verfügung gestellt. Eine Entscheidungshilfe hinsichtlich der Wahl der Distanz zwischen den Heterogenitätsklassen und damit der Anzahl derselben stellt keiner der Anbieter bereit.

### **Verfahren der Erstellung**

Die Anlage eines Schlages ist bei den vier Anbietern durch freies Zeichnen oder den Import einer entsprechenden Datei möglich (Tabelle 4). Die Bereinigung von anormalen Daten erfolgt meist auf der Grundlage von Algorithmen. Bei den Anbietern KWS und Limagrain ist zusätzlich eine manuelle Selektion möglich. Die Firma EXAgT wählt im Vorerntezeitraum manuell nur ein Satellitenbild aus, so dass der Aufwand bei bis zu acht Szenen akzeptabel erscheint.

Im Fall der Anwendung von Algorithmen zur Datenbereinigung ist ein Ausschließen des Vorgewendes nicht erforderlich. Bei der EXAgT GmbH wird dieses standardmäßig entfernt.

Alle Anbieter erstellen die Klassifikationskarten ausschließlich auf der Basis von Satellitendaten oder alternativ ECa-Daten (EXAgT). Die angebotenen Applikationskarten können hinsichtlich der Anzahl sowie der Besetzung der Klassen modifiziert werden (Tab. 4). Die Geometrie der Polygone ist (Limagrain ab 2025), mit Ausnahme des Anbieters EXAgT, veränderbar.

### **Transparenz**

Der Algorithmus zur Berechnung der Applikationskarte wurde im Detail nicht bekanntgegeben. Bei der Firma EXAgT ist jedoch die Verwendung des S2REP-Index zur Berechnung von Ertragspotenzialkarten auf ihrer Internetpräsenz beschrieben worden. In diesem Fall sind wesentliche Schritte zur Erstellung der Applikationskarte nachvollziehbar (Tabelle 4).

Die der Klassifikationskarte zugrundeliegenden Satellitenbilder werden nur bei den Anbietern EXAgT und Limagrain angezeigt. Diese können jedoch nicht exportiert werden. Gleichsam sind keine Informationen verfügbar, die eine Validierung des Ergebnisses ermöglichen.

### **Support**

Die Nutzung des Moduls wurde jeweils durch die schnelle Erreichbarkeit der zuständigen Ansprechpartner sowie deren sachdienliche Unterstützung erleichtert (Tabelle 4).

## **Anwendung**

Die Klassifikationskarte war in der Anwendung der Firma Limagrain nicht sichtbar. Bei der KWS konnte diese betrachtet, aber nicht exportiert werden. Die Anbieter EXAgT und NextFarming stellen diese in einem anerkannten Format und somit allgemein nutzbar bereit.

Die Applikationskarte ist bei allen Anbietern mit ESRI-Shape und ISO-XML in einem der gebräuchlichsten Datenformate exportierbar und damit Eigentum des Landwirtes (Tabelle 4). Beide Karten bleiben im System bei Vorliegen einer Zugangsberechtigung verfügbar.

**Tabelle 4: Bewertungskriterien für den detaillierten Vergleich ausgewählter Anbieter.**

Kriterium	Frage	EXAgT	KWS	Lima-grain	Next-farming
Güte der Klassifikationskarte	Wird der Wertebereich des Index genannt?	⊗	⊗	⊗	⊗
	Wird angegeben, ab welcher Distanz eine Klassifizierung sinnvoll ist?	⊗	⊗	⊗	⊗
Verfahren der Erstellung	Lassen sich die Feldgrenzen einfach einfügen?	✓	✓	✓	✓
	Werden anormale Daten im Vorfeld der Analyse automatisch entfernt?	✓	✓	✓	✓
	Können einzelne Datenschichten manuell von der Betrachtung ausgeschlossen werden?	✓	⊗	⊗	⊗
	Lässt sich das Vorgewende von der Analyse ausschließen?	✓	⊗	⊗	⊗
	Kann die vom Anbieter erstellte Applikationskarte hinsichtlich der Saatkichte modifiziert werden?	✓	✓	✓	✓
	Ist die Geometrie der Polygone veränderbar?	⊗	✓	✓	✓
	Können externe Daten mit verrechnet werden?	⊗	⊗	⊗	⊗
Transparenz	Ist der Algorithmus zur Berechnung der Karte bekannt?	⊗	⊗	⊗	⊗
	Ist der Prozess zur Erstellung der Applikationskarte für den Anwender nachvollziehbar?	⊗	⊗	⊗	⊗
	Werden die Satellitenbilder angezeigt, welche in die Berechnung mit einfließen?	✓	⊗	✓	⊗
	Sind die Satellitenbilder und Informationen zur Validierung verfügbar?	⊗	⊗	⊗	⊗
Support	Gewährt der Anbieter bei Anfrage Hilfeleistung?	✓	✓	✓	✓
Anwendung	Ist die Applikationskarte in einem der verbreitetsten Datenformate exportierbar?	✓	✓	✓	✓
	Geht die Klassifikations- sowie die Applikationskarte in das Eigentum des Landwirtes über?	✓	⊗	⊗	✓
	Sind die Daten in diesem Fall aus dem System exportierbar und auf anderen Plattformen nutzbar?	✓	✓	✓	✓
	Bleibt die Klassifikations- sowie die Applikationskarte langfristig im Modul verfügbar?	✓	✓	✓	✓
Kosten (zzgl. MwSt.)	Wie hoch sind die Kosten (EUR)?	832,50	0,00	200,00	1536,77

✓ - trifft zu, ⊗ - trifft nicht zu

## **Kosten**

Die Angebote unterscheiden sich hinsichtlich von Form und Umfang sowohl zwischen den Anbietern wie auch innerhalb derselben erheblich. So wird die Leistung der Anbieter Nextfarming mit 1.536,77 EUR und EXAgT mit 832,50 EUR flächenabhängig berechnet, die der Firma Limagrain flächenunabhängig mit einer Jahrespauschale von 200 EUR. Die KWS bietet die Leistung im Rahmen ihres Geschäftsmodells kostenfrei an (Tabelle 4). Aus diesem Grund sollen die von den Anbietern genannten Kosten nicht miteinander verglichen werden.

## 6 Wissensstand zur teilflächenspezifischen Aussaat

### Heterogenität der Wachstumsbedingungen

Die teilflächenspezifische Aussaat ist ein Verfahren, das darauf abzielt, die Produktivität von Nutzpflanzen zu steigern, indem die Aussaatdichte und -tiefe gezielt an die spezifischen Wachstumsbedingungen einzelner Feldzonen, auch als Managementzonen bezeichnet, angepasst werden (NAWAR et al., 2017; MUNNAF et al., 2022; SAURASKIS et al., 2023; KRAML, 2024). Das Konzept der Managementzonen wurde entwickelt, um der erheblichen Variabilität der Wachstumsbedingungen innerhalb landwirtschaftlicher Flächen Rechnung zu tragen. Ziel ist, durch den gezielten Einsatz von Produktionsmitteln die Bewirtschaftung effizienter und umweltfreundlicher zu gestalten (FRANZLUEBBERS und HONS, 1996; MALHI et al., 2001; MOUAZEN et al., 2003; BASSO et al., 2013).

Globale Navigationssatellitensysteme zur Positionsbestimmung (GNSS) ermöglichen hierbei die räumliche Identifizierung von Parametern des Bodens und der Pflanzen, die von Satelliten, Drohnen, Bodensensoren und Probenahmegegeräten erhoben werden. Algorithmen und Modelle analysieren schließlich die gesammelten Daten und generieren Empfehlungen für die teilflächenspezifische Aussaat.

Grundsätzlich unterscheidet man nach Systemen, die auf Grundlage historischer Daten die Felder in Ertragszonen unterteilen, und nach Systemen, in denen die Heterogenität des Standorts mithilfe von Sensoren online erfasst wird (BECK, 2018; KUNKEL, 2020).

- Eine Möglichkeit, Managementzonen zu bilden, ist die Ableitung von **Ertragspotenzialkarten** aus Reflexionsdaten des Pflanzenbestands (LIEBLER, 2003; SCHMID, 2007; SPICKER, 2016). So zeigten Versuche mit Winterweizen, dass zum Zeitpunkt Mitte der Blüte (EC 65) die Vegetationsindizes REIP und SR1 eine enge Beziehung zum Kornertag aufwiesen, jedoch mit deutlichen Jahreseffekten. Eine Transformation der erhobenen Daten in Relativwerte erhöhte die Vorhersagegüte derselben bezüglich des Kornertags wesentlich. Somit können mit Reflexionsmessungen zum Zeitpunkt Mitte der Blüte die unterschiedlichen Ertragsbereiche eines Schlags exakt abgegrenzt werden (MAIDL et al., 2019).
- Die sichere Bestimmung von Managementzonen hängt zudem wesentlich von **Parametern des Bodens** ab. Bodeneigenschaften werden standardmäßig mit analytischen Verfahren bestimmt, die kostenintensiv und zeitaufwendig sind und überdies Fachpersonal beanspruchen. Zudem basieren die Verfahren auf einer limitierten Anzahl von gemischten Bodenproben, von bis zu 2 ha großen Flächen (VANDENAUWEELE et al., 2000). Diese Form der eingeschränkten Beprobungsstrategie erschwert die Bildung von Managementzonen. Aus diesem Grund müssen alternative Methoden die Laborreferenz ersetzen, um räumlich hoch aufgelöste Informationen über den Boden kostengünstig, mit hinreichender Präzision und geringem Zeitaufwand zu erhalten.

- Eine weitere Möglichkeit zur Identifizierung von Teilflächen ist die Ertragskartierung. Sie ermittelt den ortsspezifischen Ertrag durch eine positionsgenaue Erfassung der Erntemenge mithilfe eines GNSS (BECK, 2018). Damit wird die Ertragsfähigkeit des Bodens anhand der tatsächlichen Erntemenge von Pflanzen bestimmt. Am meisten verbreitet ist die lokale Ertragsermittlung mit dem Mähdrescher. Hierbei gibt es eine Reihe potenzieller Fehlerquellen wie z. B. bei Schnittbreite und Fahrgeschwindigkeit sowie Systemfehler. Geschwindigkeit und Position werden ausreichend genau erfasst (NOACK et al., 2003). Die Fehler bei der Durchsatzmessung liegen bei 3 %, können jedoch bis auf 10 % ansteigen (REITZ, 1997; REYNS et al., 2002). Die größten Fehler ergeben sich durch Abweichungen in der Schnittbreite (STEINMAYR, 2002).
- Für große Schläge ist die Abweichung gering, je kleiner dieselben, desto stärker die Divergenz, wie Vergleichsmessungen von Groß- und Parzellenmähdrescher zeigten (BACHMEIER, 2007).
- Dieses Verfahren entspricht mittlerweile dem aktuellen Entwicklungsstand der Erntetechnik und ist damit auch bei Feldhäckslern für die Maisernte verfügbar (NOACK, 2007). Die Vorteile der Ertragskartierung für den Ansatz der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung liegen darin, dass ortsspezifische Schwachstellen auch als solche identifiziert werden können. Außerdem lassen sich durch die genaue Erfassung der Erntemengen Rückschlüsse auf die Nährstoffentzüge ziehen (CLAAS, 2017).
- Die Ertragsfähigkeit des Bodens wird primär von der Nährstoffhaltefähigkeit sowie dem Wasserspeichervermögen bestimmt, wobei diese Eigenschaften hauptsächlich dem Einfluss des Gehaltes an Humus und Ton unterliegen (AMELUNG et al., 2010). Letzterer bodenphysikalische Parameter kann durch die elektrische Leitfähigkeit des Bodens (ECa) erfasst werden. Mit dem EM38-System kann diese Messung kostengünstig durchgeführt werden. Das Messgerät besitzt eine Sendespule, die ein elektromagnetisches Wechselfeld in den Boden sendet. An den Tonteilchen werden Magnetfelder induziert, die von einer ebenfalls am Messgerät befindlichen Empfängerspule aufgenommen werden (HEIL und SCHMIDHALTER, 2017). Aus den Messwerten kann auf den Anteil an Feinerde (Ton) geschlossen werden. Ein hoher Feinerdeanteil geht einher mit einer ebensolchen elektrischen Leitfähigkeit des Bodens (ECa).
- Das Messergebnis wird durch weitere physikalische und chemische Parameter beeinflusst, z.B. den Salz- und Wassergehalt, die organische Substanz, die Lagerungsdichte, die Korngrößenzusammensetzung und die Temperatur (CORWIN und LESCH, 2005; HINCK et al., 2013; SARAUSKIS et al., 2022). Darüber hinaus interagieren diese Merkmale miteinander, so dass die Änderung eines Merkmals die Änderung eines anderen Merkmals nach sich zieht (WILSON und GALLANT, 2000).
- Die Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit von den äußeren Bedingungen hat zur Folge, dass die absoluten Messwerte nicht direkt in beschreibenden Algorithmen verwendet werden können (JOHNSON et al., 2003; ADAMCHUK, 2006). Dennoch liefern diese Daten, ohne direkt auf bodenkundliche Parameter schließen zu können, wichtige Hinweise über Differenzen und Ähnlichkeiten für die

Unterteilung eines Feldes in relativ homogene Managementzonen (RECKLEBEN, 2007). Hierbei werden jedoch keine tiefgreifenden Einsichten bezüglich der räumlichen Divergenz in der Bodenproduktivität geboten (CORWIN und LESCH, 2003; ADAMCHUK et al., 2004). Exakte Aussagen über unterschiedliche Bodenarten lassen sich erst treffen, wenn Untersuchungen in Zonen mit ähnlicher Leitfähigkeit stattfinden (ADAMCHUK, 2006).

- Neben dem EM38-System erfassen auch der SoilXplorer, das Veris- und das Bos-1Ep-System die scheinbare elektrische Leitfähigkeit des Bodens. Bei den beiden Letztgenannten beruht das Messverfahren auf direktem Kontakt zum Medium.
- Das EM38-System ermittelt im Bodenhorizont von 0-150 cm einen Durchschnittswert. Das Veris-System hingegen betrachtet die Profilmbereiche 0-30 und 0-90 cm. Damit lassen sich genauere Rückschlüsse auf den Unterboden und die Krume ziehen (HINCK et al., 2009). Die Tiefe der Untersuchung beeinflusst dabei die absolute Höhe eines Messwertes, nicht jedoch die Differenz zwischen den Messwerten der jeweiligen Zonen (SARAUŠKIS et al., 2022). Der SoilXplorer analysiert mithilfe von vier Spulen die Schichten von 0-25 cm, 15-60 cm, 55-95 cm und 85-115 cm. Aus den Messsignalen werden neben der elektrischen Leitfähigkeit Rückschlüsse auf den relativen Wassergehalt und auf Verdichtungen des Bodens gezogen. Auf der Grundlage dieser in Echtzeit zur Verfügung stehenden Daten kann z. B. automatisch die Arbeitstiefe des Geräts während der Bodenbearbeitung gesteuert werden (SCHMIDT, 2019). Das Geophilus-Multisensorsystem ermittelt über direkten Kontakt zum Boden die von diesem emittierte Gammastrahlung und den elektrischen Widerstand. Daraus werden der Tongehalt, die Art des Bodens und dessen Wassergehalt abgeleitet.
- Bei der Fernerkundung findet eine rein optische Beurteilung des Schlages statt. Diese Verfahren nutzen reflektierte oder emittierte elektromagnetische Strahlung, um Objekte aus der Ferne aufzunehmen (SCHMIDT, 2009; SCHAEPMANN und WULF, 2015; BALDENHOFER, 2019). Damit wird eine unabhängige, kontinuierliche und flächendeckende Erfassung von Zuständen ermöglicht. Zudem ist sie im Gegensatz zur Ertragskartierung nicht mit systematischen Fehlern behaftet (HEIPKE, 2017). Somit können diese räumlichen Informationen als fundierte Grundlage zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung von Ackerflächen dienen (MORAN et al., 1997). Die dabei eingesetzten Techniken sind z. B. Luftbilder, aufgenommen von auf Flugzeugen oder Satelliten installierten Multi- oder Hyperspektralsensoren, und Synthetic Aperture Radar (SAR), also Radarsysteme (BECK, 2018).
- Eine wichtige Datenquelle steht seit dem Start der Sentinel-2-Satelliten der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) im Jahr 2017 zur Verfügung. Das Satellitenpaar misst im Abstand von ungefähr fünf Tagen die Reflexion des Sonnenlichts von der Erdoberfläche im roten bis nahinfraroten Wellenlängenbereich (443-2190 nm). Aus den 13 Spektralkanälen dieser Bilder (Auflösung 10 x 10 m) können Informationen hinsichtlich der Entwicklung des Pflanzenbestands abgeleitet werden, die in einem

Index wie z. B. dem LAI und dem Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Ausdruck finden (LI- LIENTHAL und GREEF, 2017). Die Beziehung zwischen beiden Indizes unterliegt dabei erheblichen Schwankungen (FASSNACHT et al., 1997; BIRKY, 2001). Die Ursache hierfür sind Veränderungen in der Phänologie der Pflanzen aufgrund wechselnder Umweltbedingungen (WANG et al., 2005). Die Art der Pflanzen dürfte die Beziehung nur wenig beeinflussen im Verhältnis zum Vorhandensein von pflanzenverfügbarem Wasser (BAJOCCO et al., 2022).

- Aus der Menge an Chlorophyll in der oberirdischen Biomasse und der Konzentration desselben in den Blättern kann auf die Vitalität der Pflanzen und die potenzielle Brutto-Primärproduktion geschlossen werden (ZARCO-TEJADA, 2004; GITELSON et al., 2006). Zur Schätzung des Chlorophyllgehaltes der Blätter eignet sich der S2REP-Index, der eine enge Beziehung zu diesem Parameter aufweist (FRAMPTON et al., 2013). In gleicher Weise hat sich der Quotient aus der Reflexion bestimmter Wellenlängen  $[(R_{850}-R_{710})/(R_{850}-R_{680})]$  als Maßzahl für die Quantifizierung des Chlorophyllgehaltes von höheren Pflanzen bewährt (DATT, 1999).
- Die Chlorophyllmenge in der oberirdischen Biomasse steht in Beziehung zum Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), wobei dieser Zusammenhang ähnlichen Unsicherheiten unterliegt wie zum LAI (siehe oben). Letzterer gibt dagegen Einblick in die Funktion und Struktur des Blätterdachs (WILHELM et al., 2000).
- In Regionen, in denen es oft bewölkt ist, kann der Einsatz optischer Sensoren (Sentinel-2) jedoch problematisch sein. Außerdem hängt die Brauchbarkeit der gewonnenen Bilder von der Tageszeit ab (MALDONADO, 2023). Deshalb ist die Kombination von Radar- und optischen Systemen für die Fernerkundung unerlässlich (BECK, 2018). Alternativ kann auf Fern- und Nahsensoren zurückgegriffen werden, die weniger abhängig von meteorologischen Bedingungen sind. Zu den Sensoren, die am wenigsten empfindlich auf meteorologische Bedingungen reagieren, gehören die Geräte zur berührungslosen Messung der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (DEININGER, 2024).

Die Heterogenität eines Feldes ist eine komplexe Erscheinung multipler biotischer und abiotischer Einflussgrößen (VAN ROEKEL und COULTER, 2011). Eine Analyse mit mehreren Faktoren kann die Bodenfruchtbarkeit somit besser repräsentieren als die Betrachtung eines einzelnen Faktors (NOLIN et al., 2001; VASILINIUC und PATRICHE, 2001; VISCARRA et al., 2010; WHETTON et al., 2017 a; MUNNAF et al., 2020 b). Der Gehalt an Stickstoff, Kalium, Phosphor, Magnesium sowie die elektrische Leitfähigkeit, die Kationenaustauschkapazität, der pH-Wert und der Gehalt an organischer Substanz gelten als die wichtigsten Faktoren, die die Bodenfruchtbarkeit und damit die Ertragsfähigkeit von Pflanzen beeinflussen (WHETTON et al., 2017 a). Daher ist es zielführend, diese Daten mit jenen der reflexionsoptischen Messungen, der Ertragskartierung oder mit Satellitenbildern zu kombinieren, um auf eine erfolgreiche teilflächenspezifische Zonierung schließen zu können (KITCHEN et al., 1999; JOHNSON et al., 2003; DOH-

MEN et al. 2006). Für die Annäherung an die ideale Bestandsdichte sind somit möglichst viele Informationen zu Boden und Pflanzen zu berücksichtigen. Die ideale Pflanzendichte per definitionem bleibt aufgrund der beschriebenen Umstände dabei jedoch unbekannt (PLANT, 2001).

In diesem Sinn sind Ergebnisse von MUNNAF et al. (2021) zu verstehen, die bei der Nutzung von ECa-Daten als Grundlage zur Zonierung des Schlages bei Kartoffeln einen Ertragsvorteil gegenüber der flächeneinheitlichen Pflanzung beobachteten. Dieser wurde jedoch unter Einbeziehung von Messungen der Online-Rot-und-Nahinfrarot-Reflexionsspektroskopie kombiniert mit dem NDVI in der Wirkung übertroffen. Letzteres Vorgehen ermöglichte die Berücksichtigung der Wechselbeziehung zwischen den Hauptmerkmalen des Bodens und dem Ertrag auf der Grundlage verschiedener Stufen der Bestandsdichte (SARAUSKIS et al., 2022).

Zur Messung von Boden- und Pflanzeigenschaften stehen zahlreiche Sensoren zur Verfügung, z. B. elektrische, magnetische, elektromagnetische, elektrochemische, mechanische, optische und radiometrische Techniken (ADAMCHUK et al., 2004). Jedes dieser Systeme kann einen oder mehrere Parameter erfassen. Hieraus ergibt sich der Bedarf nach einem Multisensor-Datenfusionsansatz (DONG et al., 2009; KUANG et al., 2012; REYANA et al., 2023). Mittels Multisensor-Datenfusion können Informationen aus mehreren Quellen kombiniert werden, was einen umfassenderen Blick auf das Wirkungsgefüge ermöglicht (POHL und VAN GENDEREN, 1998; KHALEGHI et al., 2013).

Ein Beispiel hierfür ist die Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit mittels des Soil Fertility Index (SFI) (ANDREWS et al., 2004). Der SFI ist eine mathematische Kombination mehrerer Bodenfruchtbarkeitsmerkmale, die durch einige Belastungsfaktoren gewichtet werden (D'HOSE et al., 2014; NAUMANN et al., 2020). Er wurde entwickelt und validiert, um räumliche Variationen der Bodenfruchtbarkeit mit einem Online-Bodensensor für sichtbares (rotes) und nahinfrarotes Licht (VNIRS) schnell, preiswert und präzise zu erfassen (WETTERLIND et al., 2013; MUNNAF und MOUAZEN, 2021). Die VNIRS wurde vielfältig zur Schätzung des SFI eingesetzt (VISCARRA ROSSEL et al., 2010; ASKARI et al., 2015; YANG et al., 2020; MUNNAF und MOUAZEN, 2021). Allerdings wurden oft unterschiedliche Bodenmerkmale ohne genau erkennbare Kombinationen erfasst, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse einschränkt. Zudem blieb die Schätzgenauigkeit der Bodenparameter meist unberücksichtigt (JIA et al., 2023). Überdies ist zu beachten, dass die spektroskopischen Messungen wesentlich vom Wassergehalt des Bodens beeinflusst werden. Hier wird vorgeschlagen, VNIR-Spektren zur Klassifizierung des Wassergehaltes mithilfe des Verfahrens der partiellen Kleinst-Quadrate-Regression (PLSR) und der faktoriellen Diskriminanzanalyse (FDA) zu nutzen (MOUAZEN et al., 2006).

Zahlreiche Bodenparameter können mithilfe von Vorhersagemodellen auf der Basis von Absorptions- und Reflexionsspektren (VNIRS) anderer Substanzen im Boden abgeleitet werden (KUANG et al., 2012;

SORIANO-DISLA et al., 2014) Diese Schätzwerte werden dann zur Berechnung des SFI genutzt, einschließlich der Merkmale mit direkter spektraler Antwort im VNIR-Spektrum (Wasser- und Tongehalt) sowie Bodenparameter (pH-Wert), die mit den Hauptbodeneigenschaften korrelieren (XU et al., 2018).

Weil die Bewertungsergebnisse zur Bodenfruchtbarkeit zwischen VNIRS und der chemischen Analyse gut übereinstimmen, hat diese Technologie großes Potenzial für die Bestimmung der Bodenfruchtbarkeit und die Berechnung eines Bodenfruchtbarkeitsindex und somit auch für die erfolgreiche Implementierung eines sensorbasierten Systems zur teilflächenspezifischen Aussaat (JIA et al., 2023).

Im Rahmen einer Studie wurde ein solches vollautomatisches, sensorbasiertes System zur teilflächenspezifischen Aussaat entwickelt und evaluiert (MUNNAF und MOUAZEN, 2023). Hierbei stand die Echtzeit-Bewertung der Bodenfruchtbarkeit durch einen Online-VNIRS-Sensor und die Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems zur Berechnung und Steuerung der Aussaatmenge gemäß dem berechneten Index in Echtzeit und deren Applikation mit einer Sämaschine im Fokus. Die Bodenspektren wurden mithilfe einer optischen Sonde, die an der Rückseite eines Tiefenlockerers befestigt war, in 20 cm Tiefe gemessen (MOUAZEN et al., 2007).

Die Kalibrierungsergebnisse zeigten, dass das sensorbasierte System die definierte Aussaatmenge zu 87,5 % (77,8-95,2 %) aufrechterhielt (MUNNAF und MOUAZEN, 2023). Die Genauigkeit nahm mit der Aussaatmenge zu, wobei die größte Abweichung zwischen definiertem und tatsächlichem Kornabstand 4 cm betrug. Zu berücksichtigen ist, dass die Wirkung der Saatmenge am Standort auch von den dortigen topografischen Eigenschaften (geografische Höhe, Hangneigung und -wölbung) und Witterungsbedingungen abhängt und mit diesen in Wechselwirkung steht (SARAUSKIS et al., 2022). Die Nutzwirkung einer Methode zur Bestimmung der adäquaten Aussaatmenge basierend auf pedosphärischen und topografischen Variablen über ein Betriebssystem ist daher zufallsbehaftet und wenig aussichtsreich (LICHT et al., 2017). Hingegen wäre die Berechnung von Saatmengen-Reaktionskurven für einzelne Managementzonen, basierend auf Indizes, die den Einfluss von Bodenfruchtbarkeit, Wasserrückhaltevermögen und Landschaftsposition berücksichtigen, von großem Wert (LICHT et al., 2017).

Insgesamt ist die Anwendung des Verfahrens der teilflächenspezifischen Aussaat nur gewinnbringend, wenn die Wachstumsbedingungen innerhalb eines Feldes wesentlich variieren (SUDDUTH et al., 1998).

### **Datenanalyse und Modellierung**

Algorithmen und Modelle analysieren die erhobenen Daten und generieren Empfehlungen für die teilflächenspezifische Aussaat (XU et al., 2020). Eine geeignete Modellierungstechnik kann Informationen zu Bodenparametern aus dem Sensorsignal und dem Labormesswert des Bodens extrahieren (MUNNAF et al., 2020 b). Die verschiedensten Bodenparameter werden dabei unter Anwendung des Verfahrens der Faktorenanalyse zu einem Bodenfruchtbarkeitsindex zusammengefasst (KAISER, 1958).

Abhängig von den verwendeten Methoden können lineare oder potenziell nichtlineare komplexe Beziehungen modelliert werden, mit jeweils spezifischen Vor- und Nachteilen je nach Anwendungsszenario (NAWAR et al., 2017). Zur Anwendung kommen dabei z. B. die partielle OLS-Regression, Support Vector Machine, Random Decision Forest und Convolutional Neuronal Networks (RUSS und BRENNING, 2010; JIA et al., 2023).

Für die Prognose von Bodenparametern in Form von vollflächigen Karten sind künstliche neuronale Netze (KNN) meist effizienter als herkömmliche lineare oder einfache „eigentlich nichtlineare“ Verfahren (KEINER und YAN, 1998; JIANG et al., 2004; KUANG et al., 2015). Die KNN-basierte Methode verwendet eine nichtlineare Antwortfunktion, die viele Male in einer speziellen Netzwerkstruktur iteriert, um die komplexe funktionale Beziehung zwischen Eingabe- und Ausgabetrainingsdaten zu erlernen (DONG et al., 2009). Dabei sind direkte Modelle, die den SFI aus den VNIR-Werten berechnen, und indirekte Modelle, die Bodenparameter aus den VNIR-Werten ableiten und darauf basierend den SFI berechnen, gleichermaßen gut geeignet. Das Verhältnis (Kappa-Koeffizient,  $\kappa = 0,6$ ) zwischen den SFI-Berechnungen der VNIR-Spektroskopie und chemisch-analytischen Laborwerten erweist sich dabei als konsistent (siehe oben) (JIA et al., 2023).

Die Quantifizierung des Effektes dieser Bodenparameter auf den Ertrag und den NDVI ist besonders effizient unter Anwendung des Verfahrens der „Nichtlinearen Volterra-Regression“ (WHETTON et al., 2017 b). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass sich Beobachtungen, die nahe bei einander liegen, im Durchschnitt ähnlicher sind als solche, die räumlich weiter voneinander entfernt sind. Diese Autokorrelation (oder feldspezifische Variabilität) dient der Erkennung von Mustern in räumlichen Daten sowie der Vorhersage von Werten an nicht beprobten Standorten und ist somit unerlässlich für die genaue statistische Analyse derselben (HAINING, 2001). Die Quantifizierung dieser räumlichen Abhängigkeit ist bedeutsam für das Verstehen des Einflusses der zu Grunde liegenden Faktoren auf die Produktivität des Feldes (LEROUX und TSISEYRE, 2019).

Zukünftige multifunktionale Systeme zur nachhaltigen Steuerung der technologiegestützten teilflächenspezifischen Aussaat, basierend auf Spektrometrie im UV-, sichtbaren und nahinfraroten Bereich, werden Landwirten helfen, die Produktivität ihrer Pflanzen zu steigern, Ressourcen effizienter einzusetzen und die Umwelt zu schützen. (DEININGER, 2024).

## **Wärmeenergie**

Die thermischen Eigenschaften des Bodens, inklusive Wärmeleitfähigkeit, thermische Diffusivität und spezifische Wärmekapazität, sind die Hauptfaktoren, die die Energiepartitionierung an der Bodenoberfläche und den Wärmetransport im Bodenprofil steuern (LIPIEC und HATANO, 2003; OCHSNER et al.,

2007; LIU et al., 2018). Darüber hinaus beeinflussen sie die Bodenwasserbedingungen durch den Effekt des latenten Wärmeaustauschs und der Verdunstung (HEITMAN et al., 2020).

Der Wärmetransport und die Temperaturverteilung im Boden haben wichtige Auswirkungen auf die Keimung, das Keimlingswachstum und die damit verbundene Kulturetablierung (ABU-HAMDEH und REEDER, 2000; MELLANDER et al., 2004; LIPIEC et al., 2011), die mikrobielle Atmungsrate, den Umsatz der organischen Materie (ANDRY et al., 2009; XU et al., 2012) und den Gasaustausch (PENG et al., 2009; XU et al., 2012). Die gemessenen thermischen Bodeneigenschaften sind somit in gekoppelten Wärme- und Wassertransfermodellen erforderlich (HEITMAN et al., 2008; TARNAWSKI et al., 2021), um die Vorhersage der räumlichen und zeitlichen Dynamik der Bodentemperatur und die Auswirkungen verschiedener Praktiken der Landbewirtschaftung unter den Bedingungen des Klimawandels zu verbessern (ZHAO und SIA, 2019). Das Erkunden der räumlichen Variabilität dieser Merkmale ist somit in der teilflächenspezifischen Landbewirtschaftung bedeutsam für die Vorhersage von Parametern des Wärmehaushaltes des Bodens (USOWICZ et al., 2017; MITCHELL-FOSTYK et al., 2021).

In diesem Kontext ist der Wechselbezug der bodenthermischen Eigenschaften zu herkömmlich gemessenen bodenphysikalischen Parametern bedeutsam. Dabei stehen diese – vor allem die Leitfähigkeit und die Diffusivität von Wärme – in engerer Beziehung zum Wassergehalt des Bodens als zum Gehalt an organischer Substanz oder der Korngrößenzusammensetzung (RAVAZZANI, 2017; GAMAGE et al., 2019). Deshalb könnte es nützlich sein, die bodenthermischen Systeme und die Energieaustauschprozesse zu modellieren und Managementsysteme wie die teilflächenspezifische Berechnung zu entwickeln (HEZARJARIBI, 2008; MÖBIUS, 2016). Ein solches Modell wurde zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit der Böden abhängig von deren Zusammensetzung und den äußeren Bedingungen konstruiert. Dabei offenbarte sich über einen weiten Bereich mineralischer Böden eine mit 95 bis 98 % hohe Treffgenauigkeit und Präzision der Schätzwerte gegenüber den gemessenen Werten (USOWICZ et al., 2006).

Die thermischen Eigenschaften des Bodens beeinflussen die Art und Weise, wie Energie im Bodenprofil aufgeteilt und verteilt wird. So verfügen z. B. sandige Böden aufgrund ihres geringen Wasserrückhaltevermögens über eine nur geringe Wärmekapazität, die große tägliche Temperaturschwankungen zur Folge hat (AKTER et al., 2015). Diese erhöhen das Risiko von Pflanzenschäden durch extreme Temperaturen (LIPIEC et al., 2011). Zu Beginn der Vegetation jedoch begünstigt die schnellere Erwärmung dieser Böden die Entwicklung der Pflanzen (SCHMID, 2007).

In der Agronomie ist dieses Wissen für die genaue Vorhersage der Bodentemperatur (CAMPBELL et al., 1994; HU et al., 2016) und deren Einfluss auf die Keimung von Samen und das Pflanzenwachstum (ABU-HAMDEH und REEDER, 2000) erforderlich, um Wärme- und Wasserverteilung in der ungesättigten Zone

zu modellieren (PETERS-LIDARD et al., 1998; RAVAZZANI et al., 2016), um mikrobielle Aktivität und Zersetzung organischer Materie vorherzusagen (KANG et al., 2003; EPRON et al., 2006), Treibhausgasemissionen zu schätzen (NKONGOLO et al., 2010) sowie den Bodenwassergehalt zu bestimmen (BRISTOW et al., 1993; LU et al., 2007).

Während thermische Bodeneigenschaften typischerweise an Punkten innerhalb eines Feldes gemessen werden, zeigen sie aufgrund ihrer Abhängigkeit von räumlich variablen bodenphysikalischen Eigenschaften wie Bodenwassergehalt, Bodentextur, Schüttdichte und organischem Kohlenstoff eine erhebliche räumliche Variabilität über verschiedene Maßstäbe hinweg (LEHNERT et al., 2015; USOWICZ et al., 2017). Einige Eigenschaften wie Textur und mineralogische Zusammensetzung sind inhärent für den Boden (NIKOOSOKHAN et al., 2016). Die Veränderungen derselben als Reaktion auf Landnutzung oder Bewirtschaftungspraktiken sind minimal. Allerdings verursachen bereits geringe Änderungen in der Textur des Bodens oder seines Gehaltes an organischer Substanz erhebliche Modifikationen seiner Wärmeleitfähigkeit (ROVDAN und USOWICZ, 2002; SEIFERLIN et al., 2003). Im Gegensatz dazu können dynamische Bodeneigenschaften wie der Wassergehalt, der Gehalt an organischer Substanz und die Lagerungsdichte im Laufe von Monaten und Jahren variieren (OCHSNER et al., 2001; USOWICZ et al., 2017). Diese inhärenten und dynamischen Merkmale des Bodens können unabhängig voneinander oder in Kombination arbeiten, um die thermischen Eigenschaften desselben sowohl im Raum als auch in der Zeit zu verändern (WALCZAK und USOWICZ, 1994; USOWICZ et al., 1996; GUAN et al., 2009; LEHNERT et al., 2015; NIKOOSOKHAN et al., 2016). Die räumliche Variabilität der thermischen Eigenschaften des Bodens könnte zu Variationen in der Menge an gespeicherter und übertragener Wärme innerhalb von Bodenprofilen führen (ZHAO et al., 2016). Das Wissen über die Variabilität ist daher entscheidend für die Modellierung von thermischen Bodenregimen und Massen-Energieaustauschprozessen, die im Boden-Pflanze-Atmosphäre-System auftreten. Dieses Wissen ist auch entscheidend, um Bewirtschaftungspraktiken für die Pflanzenproduktion zu optimieren (USOWICZ et al., 1996; ZHAO et al., 2016; USOWICZ and LIPIEC, 2017; USOWICZ et al., 2017).

## **Kulturarten**

Bei Kulturen mit ausschließlich vegetativer Ertragsbildung und bei solchen mit mehreren Ertragsstrukturparametern (z. B. Kartoffeln, Getreide und Raps) ist das Potenzial für eine Effizienzsteigerung durch teilflächenspezifische Aussaat gering. Hingegen weisen Kulturen mit wenigen Ertragsstrukturparametern wie Mais hier ein gewisses Reaktionspotenzial auf (HUBER und MAIDL, 2002; DU et al., 2022).

### *Mais*

Mais besitzt im Gegensatz zu anderen Kulturarten ein Optimum bei der Bestandsdichte, weil er nur einen Trieb bildet und damit hinsichtlich der Bestandsstruktur sehr beschränkt auf wechselnde Wachs-

tumsbedingungen reagieren kann (LÜTKE-ENTRUP et al., 2013; POTH, 2024). Die optimale Bestandsdichte hängt unter anderem ab von der Wasserversorgung des Standorts, den Sorteneigenschaften und der Nutzungsrichtung. Bei Überschreiten derselben nimmt zunächst der Kornertrag pro Fläche ab, während die Biomasseproduktion der Pflanze weiter zunimmt (TETIO-KAGHO und GARDNER, 1988). Dabei hat die Saatstärke allgemein zugenommen, weil die neuen Hybridsorten Wassermangel besser tolerieren und damit auf eine höhere Saatstärke bei geringerem Reihenabstand reagieren können (REEVES und COX, 2013).

Die praxisüblichen Bestandsdichten belaufen sich auf 6 bis 12 Pflanzen/m<sup>2</sup>, wobei der Einstufung der Reifegruppe eine erhebliche Bedeutung zukommt. Je spätreifer eine Sorte ist, desto geringer sollte die Bestandsdichte gewählt werden (LÜTKE-ENTRUP und OEHMICHEN, 2000). Bei der Nutzungsrichtung Silomais wird gegenüber dem Körnermais ein Zuschlag von 1 Pflanze/m<sup>2</sup> empfohlen (BECK, 2018).

Mit zunehmender Bestandsdichte steigt die intraspezifische Konkurrenz um Wasser, Nährstoffe und Licht (WANG, 2001). Bei Wassermangel sind Dauer, Intensität und Zeitpunkt von großer Bedeutung. Fünfzig Prozent seines Wasserbedarfs benötigt Mais in den fünf Wochen um den Zeitraum der Blüte (SCHREIBER, 1992).

Mit der Bestandsdichte steigt die Beschattung der Einzelpflanze und dadurch nimmt deren photosynthetische Leistung ab. Die oberen Blätter und die Fahne absorbieren mehr Licht und die unteren Blätter weniger (SCHREIBER, 1992). Kornanlagen und Blüten werden dadurch ungenügend mit Assimilaten versorgt. Hieraus leitet sich die Bedeutung eines ausreichenden Lichteinfalls in das Bestandsinnere ab. Eine steile Stellung der oberen Blätter erweist sich als vorteilhaft, wobei diese Eigenschaft sorten- und bestandsabhängig und damit agronomisch beeinflussbar ist (WANG, 2001).

Die beschriebenen Zusammenhänge erklären, warum die Empfehlungen zur Saatedichte von Körnermais in einem weiten Bereich (69.000 bis > 98.800 Körner/ha) liegen (MUELLER und SISSON, 2013; WOLI et al. 2014; NIELSEN et al. 2015; VINZENT et al., 2024).

Hinsichtlich der Anwendung des Verfahrens der teilflächenspezifischen Aussaat sind bei Mais keine allgemeingültigen agronomischen Regeln vorhanden (KUNKEL, 2022). Die höhere Produktivität der Pflanzen lässt Mehrerträge von bis zu 10 % erwarten (MIAO et al., 2006).

Bei der Sortenwahl wird auch auf den genetischen Hintergrund (Sortentyp) geachtet. Unterschieden wird grundsätzlich zwischen Zahnmais (Dent) und Hartmais (Flint). Hartmais-Linien bringen Frühreife und Robustheit mit (HALLAUER, 1990; UNTERSEER et al., 2016), Zahnmais-Linien sorgen für den nöti-

gen Ertrag (TAMAGNO et al., 2015). Die Sortentypen unterscheiden sich auch hinsichtlich ihres Wasserbedarfs. Dieser beträgt je Vegetationsperiode bei Hartmais 35 l/Pflanze und bei Zahnmais 55 l/Pflanze, beim Zwischentyp (Dent x Flint-Mais) 44 l/Pflanze (BECK, 2018).

Neben den genannten quantitativen und qualitativen Merkmalen müssen die Sorten in die Reifegruppe passen, gesund und beerntbar sein und sich auch in klimatisch benachteiligten Anbaugebieten als ertragsstabil erweisen. Vielfach sind hier Flint-Dent-Kreuzungen die Sorten der Wahl. Sie vereinen die Ertragsstärke der Dent-Genetik mit den guten agronomischen Eigenschaften der Flint-Genetik (PETER et al., 2009).

### *Weizen*

Die optimale Saatmenge bei Weizen ist in starkem Maße in den Sorteneigenschaften begründet, z. B. in der Leistungsfähigkeit des Wurzelsystems (WIERSMA, 2002; YANG et al., 2019). So konnte unter trockenen Bedingungen beobachtet werden, dass Genotypen mit einem größeren Anteil Wurzeln in tieferen Bodenschichten den höchsten Ertrag bei der höchsten Saatmenge erzielten. Genotypen mit einer stärkeren Durchwurzelung in oberen Bodenschichten reagierten auf eine zunehmende Saatmenge mit einem Ertragsabfall sowie einer Abnahme der Durchwurzelung in tieferen Schichten und einer Zunahme der Durchwurzelung in oberen Schichten (FANG, 2019). Die tiefe Durchwurzelung ist jedoch wichtig für die Wasserversorgung nach dem Stadium der Blüte. Mit der umfangreicheren Wasseraufnahme ist auch eine höhere N-Aufnahme-Effizienz verbunden, was sich insgesamt in einem höheren Ertrag widerspiegelt (WANG et al., 2021).

Des Weiteren wird die Saatedichte maßgeblich von den Bodenbedingungen des Anbauorts bestimmt. So weisen Zonen mit einer hohen scheinbaren elektrischen Bodenleitfähigkeit geringere Keimraten auf als jene mit niedriger Konduktivität (ECa) (GRIFFIN und HOLLIS, 2013; KAZLAUSKAS et al., 2021).

Bei der Bildung von Managementzonen auf der Grundlage historischer pflanzenbaulicher Informationen ist bei Weizen zu beachten, dass diese flächeneinheitlich gedüngt wurden, eine eventuelle variable Düngung die Ertragsunterschiede zwischen den Zonen jedoch reduziert (DE SABANDO und DIAZ-ZORITA, 2022). Darüber hinaus können die Aussaatraten bei Weizen abhängig vom Saattermin stark variieren (LLOVERAS et al., 2004; ZECEVIC et al., 2014).

Die Saatmenge bestimmt wesentlich die Produktionskosten und den Kornertrag. Die Vorhersage der optimalen Aussaatmenge würde ferner die aufwendige Saatmengenforschung obsolet werden lassen. Dahingehend wurde auf der Basis von Versuchsserien bei Sommerweizen ein Regressionsmodell erstellt, das Ergebnisse für ein System zur Entscheidungsunterstützung liefert. Letzteres berechnet die optimale Saatmenge für jede Sorte in einer bestimmten Umwelt auf der Grundlage von Standfestigkeit, Bestockungsvermögen und Kornertrag (STANLEY et al., 2020).

Ein Vergleich zwischen der teilflächenspezifischen und der flächeneinheitlichen Aussaat zeigte, dass die teilflächenspezifische Methode hinsichtlich des Ertrags und seiner Komponenten (z. B. Ähren pro m<sup>2</sup>, Kornzahl pro Ähre und Tausendkornmasse) klare Vorteile bietet. Besonders ausgeprägt war dies in der schlechtesten Bodenzone mit signifikanten Unterschieden bei Pflanzhöhe, Stroh-Korn-Verhältnis, Kornzahl/Ähre, TKG und Kornertrag (ŠARAUSKIS, et al., 2023).

In der Fachliteratur ist die Anwendung des Verfahrens der teilflächenspezifischen Aussaat auch bei anderen Kulturen (Kartoffel, Raps, Erbse, Soja und Sonnenblume) beschrieben. Hierbei werden teils positive Versuchsergebnisse präsentiert, jedoch keine neuen Erkenntnisse hinsichtlich des Verfahrens der teilflächenspezifischen Aussaat wiedergegeben. Aus diesem Grund sollen Ausführungen hierzu unterbleiben.

### **Technische Umsetzbarkeit**

Ziel der Einzelkornsaat ist, die Standraumverteilung der Pflanzen zu verbessern. Durch intensivere Lichtausnutzung und Durchwurzelung wird hierbei auch die Aufnahme von Nährstoffen aus dem Boden begünstigt (SOUCEK und PIPPIG, 1990; EICHHORN et al., 1999). Die Verbesserung der oberirdischen Kronenstruktur forciert die Photosyntheserate durch effektives Abfangen der Sonnenstrahlung sowie die photosynthetische Leistung der Kolbenblätter und führt damit zu einem Anstieg des Kornertrags (ANDRADE et al., 2002; SHARRATT und WILIAMS, 2005; XU et al., 2008). In diesem Sinne ist die ertragsfördernde Wirkung eines verringerten Saatreihenabstandes gegenüber dem praxisüblichen Wert von 75 cm zu verstehen (SCHMITT und FISCH, 1992). Mit der Standraumzuteilung im Dreiecks- oder Quadratverband werden dabei nahezu ideale Bedingungen erreicht (MORENTE et al., 2013; BOECK, 2020). Das Ziel, einen solchen Zustand zu erreichen, beruht hauptsächlich auf der geringen Fähigkeit der Maispflanze, Schwankungen in ihrer Bestandsstruktur auszugleichen (GRIEPENTROG, 1999).

Mit einem gleichmäßig verteilten Standraum vermindert sich die intraspezifische Konkurrenz der Pflanzen um Wasser und Nährstoffe und die Evapotranspiration wird durch früheren Bestandsschluss eingeschränkt (HIMMELFREUNDPOINTNER, 2024). Des Weiteren nimmt die Erosionsgefahr ab und die Unkrautunterdrückung zu (MASHINGAIDZE et al., 2009). In mehrjährigen On-Farm-Versuchen konnte mit dieser Aussaatmethode bei Silomais ein durchschnittlicher Mehrertrag von 5 % erzielt werden (o. V., 2024). Überdies spiegelte sich die intensivere Nährstoffausnutzung in einem geringeren Nitratgehalt im Boden nach der Ernte wider (DEMMELE et al. 2000; WULFES et al. 2001; PEYKER et al. 2008; GRIEPENTROG et al. 2011; RECKLEBEN 2011; MORENTE et al. 2013).

Eine gleichmäßige Verteilung des Saatguts, also Reihenabstände im Silomais von 32,5 cm bei einer Saatkichte von 9 Körnern/m<sup>2</sup>, sind sowohl mit der Einzelkornsätechnik als auch mit Drillsaatsystemen

zu erreichen – bei Letzteren allerdings mit einer höheren Variation des Kornabstands in der Reihe (RECKLEBEN und BRANDENBURG, 2019).

Je höher die Güte der Standraumverteilung (Morisita-Index  $\leq 0,5$ ) für die Einzelpflanze ist, desto größer ist auch die Durchwurzelungsintensität im Oberboden. Weite Reihenabstände oder ungenaue Ablagen in der Saatreihe wirken dem somit entgegen. Das feinfaserige Mais-Wurzelsystem konzentriert sich zu 90 % in den oberen 20 cm des Bodens und dort zu 60 % im Radius von 10 cm um die Pflanze (SONG et al., 2003). Die Aufnahme von Nährstoffen resultiert aus der Bildung einer Gradientenzone um jede Pflanze. Bei Überlappung dieser Zonen benachbarter Pflanzen sinkt der Nährstoffgehalt in diesem Bereich durch Interaktionen zwischen benachbarten Wurzeln drastisch mit der Folge einer verminderten Aufnahmeeffizienz (RUBIO et al., 2001). Die Nährstoffaufnahme über die Wurzeln in dieser überlappenden Zone variiert dabei stark abhängig von der Strategie der Standraumzuteilung (WENSHUN et al., 2013).

Unter den Bedingungen dichter als praxisüblicher Pflanzabstände ist die Aktivität von Maiswurzeln in allen Bodenschichten reduziert und das Trockengewicht von flachgründigen Wurzeln deutlich verringert. Hieraus resultiert eine geringere Wurzelbiomasse sowie ein geringerer Ertrag zur Ernte (WENSHUN et al., 2013). Dahingehend sind Ergebnisse von GOZUBENLI et al. (2004) zu sehen, wonach das Ertragsoptimum bei einer Bestandsdichte von 90.000 Pflanzen/ha lag und eine Pflanzenanzahl größer als 105.000 signifikant nachteilig wirkte.

### *Aussaattiefe*

Für die Keimung des im Boden abgelegten Saatkorns und den Aufgang der Pflanzen ist neben dem Vorhandensein von Sauerstoff und Wärme der Wassergehalt desselben von entscheidender Bedeutung. Da diese Parameter innerhalb eines Feldes kleinräumig variieren (vgl. 1), erscheint die Anpassung der Saattiefe an dieselben sinnvoll (HEEGE, 2013; ELMORE et al., 2014; RENÉ-LAFOREST, 2015). Hinsichtlich der Bodenfeuchte ist es dabei möglich, unter Verwendung topografischer Informationen ein flächenhaftes Muster für Managementzonen zu berechnen. Mithilfe georeferenzierter Ertragsdaten kann nachfolgend für jede dieser Zonen, unter Berücksichtigung von Temperatur und Niederschlag im Zeitraum der Aussaat, die Ertragsreaktion abhängig von der Saattiefenbehandlung modelliert werden (CORONEL et al., 2020). Die Anpassung der Saattiefe an die kleinräumig wechselnden Bodenbedingungen ermöglicht die effizientere Erschließung der Wasserressourcen und begünstigt das Sämlingswachstum (SUN et al., 2023). Wie Versuchsergebnisse diesbezüglich zeigten, unterscheidet sich die Wirkung der Aussattiefe bezüglich des Ertrags zwischen den Standorten und über die Jahre auch innerhalb derselben (COX und CHERNEY, 2015). Eine Ursache hierfür dürfte die witterungsabhängige Wirkung der Aussattiefe auf die relative Höhe des Pflanzenaufgangs sein (MAY et al., 2019). Dahingehend wurde bereits ein Prognosemodell entwickelt, das die Keimung und Etablierung von Mais in verschiedenen Bodentiefen vorhersagt

und so eine schnelle Bestimmung der optimalen Aussaatiefe durch einen Vergleich der prognostizierten Ergebnisse ermöglicht. Unter Einbindung dieses Vorhersage-Modells in einen Support-Vector-Machine-Algorithmus konnten der Keimindex und der Sämlingsuniformitätsindex mit einer Genauigkeit von 70,83 % bzw. 72,92 % vorhergesagt werden. Mithilfe des beschriebenen Prognosemodells zur Bestimmung der optimalen Aussaatiefe konnte der Aufgang und die Etablierung von Mais unter Feldbedingungen effektiv verbessert werden (SUN et al., 2023).

Die Technologie zur teilflächenspezifischen Regulierung der Saattiefe ist praxisreif entwickelt und wird von einigen Herstellern für Sätechnik am Markt angeboten (HORSCH, 2024).

Die Landwirtschaft wird digitaler und neue Ideen und Dienste bringen das ISO-XML-Format an seine Grenzen. So kann es z. B. nur abgeschlossene Aufträge als Datei verschicken und keine Daten in Echtzeit senden. Das wäre aber notwendig, um Telemetriedaten wie die Position der Maschine in der Farmmanagement-Software anzuzeigen. Um das möglich zu machen, steht bereits das neue Dateiformat EFDI in den Startlöchern. Trotzdem werden ISO-XML und Shape in den nächsten Jahren der Standard für den Austausch von Applikationskarten bleiben (GÖGGERLE, 2020).

## 7 Ergebnisse einer qualitativen Umfrage zur Anwendung des Verfahrens der teilflächenspezifischen Aussaat bei Mais

Die qualitative Umfrage verfolgte das Ziel, den Status quo zur teilflächenspezifischen Aussaat in sächsischen Landwirtschaftsbetrieben zu erfassen. Die Agronomen wurden dazu befragt, in welchem Umfang sie diese Technologie nutzen, welche Gründe sie zur Nutzung motivieren oder welche Gründe für eine zukünftige Nutzung sprechen. Zudem wurden die technischen, organisatorischen und inhaltlichen Voraussetzungen in den Unternehmen analysiert.

Das Umfrageformular wurde mithilfe der Anwendung Survey Monkey erstellt und auf zwei Wegen verbreitet:

- 19 beliebige Teilnehmer aus der Gruppe innovativer Landwirte wurden direkt angesprochen. Nach telefonischer Vorankündigung und schriftlicher Erläuterung des Vorhabens wurde ihnen der Link zur Umfrage zugesendet.
- Die Abonnenten des IAK-Newsletters wurden in der Ausgabe 05/2024 eingeladen, an der Umfrage teilzunehmen (<https://www.iakleipzig.de/newsletter>).

Nach sieben Wochen und dem Eingang von 16 Antworten wurde die Umfrage geschlossen. Ein Teilnehmer kam aus Thüringen, alle anderen aus Sachsen. Die Teilnehmer sind aufgrund des methodischen Vorgehens als eine zufällige Stichprobe der zuzuordnenden Grundgesamtheit zu betrachten.

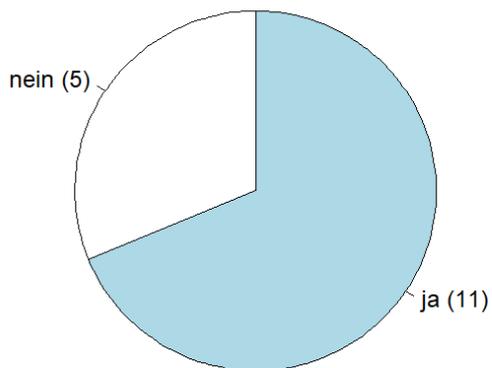
Die befragten Landwirte gaben an, Flächen von 90 bis 100.000 ha zu bewirtschaften. Mit einer Ausnahme wurde Mais in einer oder zwei Nutzungsrichtungen angebaut. 14 Betriebe haben Silomais, 9 Körnermais angebaut (Abbildung 6c, Tabelle 5). 11 Befragte gaben an, dass die Wachstumsbedingungen auf den von ihnen bewirtschafteten Flächen stark variieren (Abbildung 6a, Tabelle 5). Über die technischen Voraussetzungen zur Umsetzung der teilflächenspezifischen Aussaat verfügten 8 Betriebe (Abbildung 6b, Tabelle 5). Nur 6 Betriebe haben das Verfahren der teilflächenspezifischen Aussaat bei nachfolgenden Kulturen praktiziert:

- Getreide (3 Betriebe)
- Mais (6 Betriebe)
- Raps (3 Betriebe)
- Rüben (1 Betrieb)

Eine vollumfängliche Anwendung desselben bei Mais war lediglich bei einem Befragten zu verzeichnen. Andernfalls lag der Anteil bei 30, 70, 75 und 80 % (Abbildung 6d, Tabelle 5). Als Ursache für diese Ungleichheit wurden eine mangelnde technische Ausstattung, Schwierigkeiten beim Datenaustausch

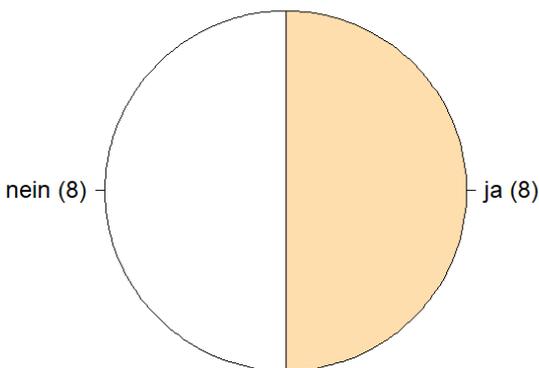
oder die noch andauernde Erprobung des Verfahrens in Verbindung mit On-Farm-Versuchen (OFR) genannt. Auch eine zu geringe Schlaggröße ist als Hinderungsgrund angeführt worden.

**Variable Wachstumsbedingungen innerhalb der Schläge**



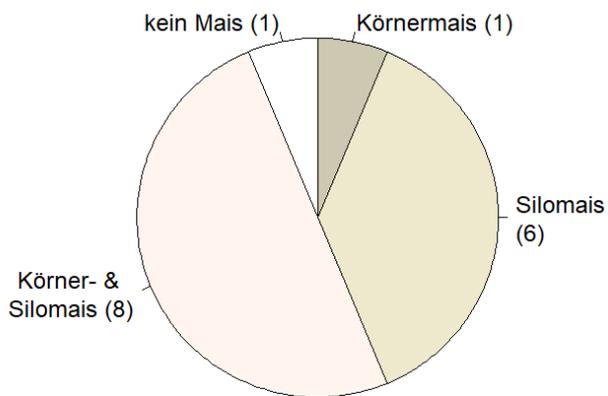
a

**Technische Voraussetzungen zur teilflächenspezifischen Aussaat**



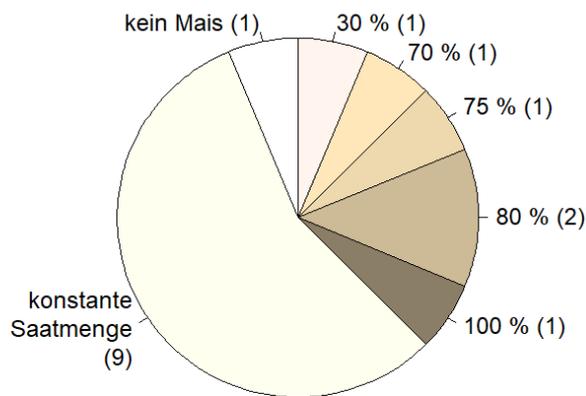
b

**Art der Nutzungsrichtung je Betrieb**



c

**Anteil der teilflächenspezifischen Aussaat von der gesamten Maisfläche (%)**



d

**Abbildung 6: Ergebnisse der qualitativen Umfrage zum Status quo der Anwendung des Verfahrens der teilflächenspezifischen Aussaat bei Mais in der landwirtschaftlichen Praxis.**

Auf langjährige Erfahrungen bei der Anwendung dieses Verfahrens (seit 2012) konnte 1 Anwender zurückblicken (Tabelle 5). Andere Befragte säten seit 2020, 2022 und 2023 teilflächenspezifisch, 2 Befragte wendeten das Verfahren 2024 erstmalig an.

Die Generierung der Klassifikations- und der Applikationskarte wurde von 1 Anwender in Eigenleistung durchgeführt (Tabelle 5). 3 Befragte nahmen einen Dienstleister in Anspruch. 1 Teilnehmer ließ die Klassifikationskarte vom Anbieter erstellen und fertigte die Applikationskarte selbst an. 1 Teilnehmer gab an, die dem Verfahren zugrundeliegenden Karten mit einem hier nicht genannten Ansatz zu erzeugen.

Als Datenquelle für die Berechnung der Klassifikationskarte führten 2 Befragte ausschließlich Satellitenbilder an. 2 Befragte nutzten diese in Verbindung mit betriebseigenen Daten bzw. in einem Fall mit Letzteren als alleinige Basis. Informationen zur elektrischen Leitfähigkeit des Bodens wurden solo oder in Kombination mit betriebseigenen Daten von einem Befragten herangezogen.

7 Teilnehmer erwarteten infolge der Anwendung des Verfahrens einen oder mehrere Vorteile (Tabelle 5). Das waren neben einem höheren Ertrag die Einsparung von Saatgut, eine gleichmäßigere Abreife des Bestands sowie ein homogeneres Erntegut (jeweils 4 Antworten).

Als nutzbringenden Effekt dieses Verfahrens nannten 2 Befragte eine größere Homogenität des Pflanzenbestands, wobei einer von beiden auch auf einen geringeren Aufwand an Saatgut verwies (Tab. 5).

Als Grund für das Nicht- oder Nicht-mehr-Anwenden der teilflächenspezifischen Aussaat führten 3 Befragte eine zu geringe Heterogenität ihrer Schläge an, wobei 2 von diesen und ein Dritter den Aufwand zur Anwendung des Verfahrens als insgesamt zu groß einschätzten (Tabelle 5). 2 Befragte hatten aufgrund von Schwierigkeiten beim Datenexport hiervon Abstand genommen. 2 Befragte nannten ihre für die teilflächenspezifische Aussaat nicht geeignete Drilltechnik als Motiv.

**Tabelle 5: Ergebnisse der qualitativen Umfrage zur Anwendung des Verfahrens der teilflächenspezifischen Aussaat (n = 16).**

		Teilnehmer															
Frage		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
1 <sup>1</sup>		2200	817	2100	100000	2000	5400	2700	900	3000	600	1650	2650	2300	1700	930	90
2	a	0	70	50	2000	0	30	0	0	50	0	50	0	130	75	176	0
	b	470	70	270	8000	250	460	450	300	650	200	400	589	220	200	0	0
3		✓	✓	⊖	✓	✓	⊖	✓	✓	⊖	✓	✓	⊖	✓	✓	✓	⊖
4		⊖	✓	⊖	✓	⊖	⊖	✓	⊖	✓	⊖	✓	⊖	⊖	⊖	✓	⊖
5	a	-	✓	-	✓	-	-	✓	-	✓	-	✓	-	-	-	✓	-
	b	-	⊖	-	⊖	-	-	⊖	-	⊖	-	✓	-	-	-	-	-
	c	-	✓	-	✓	-	-	⊖	-	⊖	-	⊖	-	-	-	✓	-
	d	-	⊖	-	✓	-	-	⊖	-	⊖	-	✓	-	-	-	✓	-
	e	-	⊖	-	⊖	-	-	⊖	-	⊖	-	⊖	-	-	-	-	-
	f	-	⊖	-	⊖	-	-	⊖	-	⊖	-	⊖	-	-	-	-	-
	g	-	⊖	-	⊖	-	-	⊖	-	⊖	-	⊖	-	-	-	-	-
	h	-	⊖	-	⊖	-	-	⊖	-	⊖	-	⊖	-	-	-	-	-
6	a	-	80	-	30	0	-	80	-	70	-	75	-	-	-	100	-
	b	-	Karte defekt	-	mangelh. Equipment	-	-	kleine Felder	-	Test-phase	-	OFR	-	-	-	-	-
7		-	2020	-	2012	-	-	2022	-	2023	-	2024	-	-	-	2024	-
8	a	-	✓	-	-	-	-	✓	-	-	-	✓	-	-	-	✓	-
	b	-	-	-	✓	-	-	⊖	-	✓	-	✓	-	-	-	✓	-
	c	-	✓	-	-	-	-	✓	-	✓	-	-	-	-	-	-	✓
	d	-	✓	-	✓	-	-	✓	-	✓	-	-	-	-	-	-	-
	e	-	-	-	-	-	-	⊖	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	f	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9 <sup>1</sup>		✓	✓	-	✓	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	-	-	✓	-

		Teilnehmer															
10	a	-	-	-	✓	-	-	⊗	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	b	-	-	-	✓	-	-	⊗	-	✓	-	✓	-	-	-	-	-
	c	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	d	-	✓	-	✓	-	-	-	-	✓	-	✓	-	-	-	-	-
	e	-	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	f	-	-	-	✓	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	g	-	✓	-	✓	-	-	⊗	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-
11		-	homog.	-	-	-	-	-	-	homog.	-	-	-	-	-	-	-
12	a	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	✓	-	✓	-	-	-	-
	b	-	-	-	-	-	✓	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-
	c	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	d	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	e	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	f	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-
	g	-	-	keine	-	-	-	-	-	zu viel	-	-	keine	-	-	-	-

✓ - trifft zu, ⊗ - trifft nicht zu, „-“ - Frage nicht beantwortet, 1 - siehe Abbildung 7

## Qualitative Umfrage zum Thema "Teilflächenspezifische Aussaat bei Mais"

1. Wie viel Ackerland (ha) bewirtschaften Sie in Ihrem Betrieb (Einfachantwort)?

2. Wie viel Hektar Körnermais und wie viel Hektar Silomais bauen Sie an (Einfachantwort)?

Hektar Körnermais:

Hektar Silomais:

3. Würden Sie sagen, dass die Wachstumsbedingungen (Bodenarten etc.) innerhalb Ihrer Schläge stark variieren (Einfachantwort)?

Ja

Nein

4. Praktizieren Sie die teilflächenspezifische Aussaat in Ihrem Betrieb (Einfachantwort)? (Wenn nein, dann weiter mit Punkt 12.)

Ja

Nein

5. Bei welchen Kulturarten wird das Verfahren der teilflächenspezifischen Aussaat in Ihrem Betrieb angewendet (eine Mehrfachauswahl ist möglich)?

Mais

Rüben

Getreide

Raps

Sonnenblume

Erbse

Ackerbohne

Sonstige.

6. Auf wie viel Prozent der Maisanbaufläche wird das Verfahren der teilflächenspezifischen Aussaat angewendet - wenn nicht 100 %, warum nicht (Einfachantwort)?

Prozent  
teilflächenspezifische  
Aussaat:

Begründung (< 100  
%):

7. Seit wann wenden Sie dieses Verfahren an (Einfachantwort)?

Jahr:

8. Welchen Nutzen erhoffen Sie sich von der Anwendung dieses Verfahrens (eine Mehrfachauswahl ist möglich)?

Ertragssteigerung

Einsparung an Saatgut

gleichmäßigere Abreife

homogeneres Erntegut

höhere Erntegeschwindigkeit

Sonstige.

9. Verfügen Sie in Ihrem Betrieb über die technischen Voraussetzungen zur Umsetzung der teilflächenspezifischen Aussaat (Einfachantwort)?

- Ja
- Nein, ich beauftrage ein Dienstleistungsunternehmen mit der Aussaat.

10. Nach welchem Ansatz wird die teilflächenspezifische Aussaat durchgeführt (eine Mehrfachauswahl ist möglich)?

- Die Klassifikations- und die Applikationskarte werden in Form einer freien Anwendung selbst erstellt.
- Die Klassifikations- und die Applikationskarte werden nach vorheriger Abstimmung von einem Anbieter erstellt.
- Die Klassifikationskarte liefert der Anbieter und die Applikationskarte wird selbst erstellt.
- Beschreibung der Heterogenität des Schlages mithilfe von Satellitenbildern.
- Beschreibung der Heterogenität des Schlages mithilfe der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens.
- Beschreibung der Heterogenität des Schlages mithilfe von betriebseigenen Daten (Sensormessungen, chemische Bodenanalyse, Ertragskartierung etc.).
- a. Beschreibung der Heterogenität des Schlages mithilfe von Satellitenbildern in Kombination mit betriebseigenen Daten (elektrische Leitfähigkeit des Bodens, Sensormessungen, chemische Bodenanalyse, Ertragskartierung etc.).
- Sonstige.

11. Haben Sie infolge der Anwendung dieses Verfahrens einen Nutzen festgestellt (Einfachantwort)?

Ja, und zwar ...

Nein

12. Aus welchen Gründen wenden Sie das Verfahren der teilflächenspezifischen Aussaat nicht oder nicht mehr an (eine Mehrfachauswahl ist möglich)?

- Die Bodenbedingungen innerhalb der Schläge erfordern keine Variierung der Saatkichte.
- Die angebotenen Lösungen sind zu aufwendig in der Anwendung.
- Der Prozess der Kartenerstellung ist nicht nachvollziehbar.
- Nach wiederholt auftretenden Schwierigkeiten beim Datentransfer zum Terminal ist die Anwendung der teilflächenspezifischen Aussaat eingestellt worden.
- Die Anbieter weisen die ökonomische Vorteilhaftigkeit dieses Verfahrens nicht nach.
- Ich hatte noch keine Zeit, mich damit auseinanderzusetzen.
- Sonstige.

13. In welchem Bundesland befindet sich Ihre Betriebsstätte?

**Abbildung 7: Fragebogen für die Durchführung der qualitativen Umfrage.**

## **8 Handlungsempfehlungen zur Unterstützung der sächsischen Landwirtschaft**

### **Abgleich der Ergebnisse von Marktrecherche und Umfrage**

Die Befragung der Landwirte hat gezeigt, dass das Verfahren der teilflächenspezifischen Aussaat trotz der dafür gegebenen standörtlichen Bedingungen nur in etwa der Hälfte der Fälle praktiziert wurde. Vollumfänglich wurde es nur einmal angewendet. Als Ursache für die partielle Nutzung dieses Verfahrens wurden unter anderem eine mangelnde technische Ausstattung sowie Schwierigkeiten beim Datenaustausch angegeben. Ersteres Argument dürfte auf technische Ausfälle oder die anteilige Inanspruchnahme einer Dienstleistung und die damit verbundenen Mehrkosten zurückzuführen sein. Die Hemmnisse beim Datentransfer treten trotz zahlreicher angebotener Dateiformate und gerätespezifischer Adaptionen hinsichtlich der Ordnerstruktur für die Sätechnik, die eine adäquate Umsetzung der Applikationskarte ermöglichen, häufig auf. So kann z. B. eine Taskdata-Datei durch das Beinhalten von Kommentaren, eine andersartige Kodierung, eine veraltete Version, die Überladung mit entbehrlichen Daten oder infolge unterschiedlicher Schreibung ihres Namens für das Terminal nicht lesbar sein.

Die innerbetrieblich noch andauende Erprobungsphase des Verfahrens in Verbindung mit produktionsintegrierten Großflächenversuchen (OFR), ist eine weitere Erklärung für die partielle Anwendung.

Eine geringe Schlaggröße als Hinderungsgrund ist bei der in Mitteldeutschland bestehenden Flächenstruktur nur selten gegeben und daher zu vernachlässigen.

Die das Verfahren der teilflächenspezifischen Aussaat praktizierenden Betriebe können mit Ausnahme von zwei Neueinsteigern auf mehrjährige Erfahrungen zurückgreifen. Der Grund hierfür ist in der Erwartung mindestens eines Vorteils in Verbindung mit diesem zu sehen. Zwei Betriebe konnten hierbei nachweislich eine höhere Homogenität des Ernteguts erzielen und einer davon sparte Saatgut ein. Diese Beobachtung ist kongruent mit den Aussagen einiger Anbieter, die einen direkten wirtschaftlichen Nutzen versprechen oder einen solchen unter bestimmten Bedingungen in Aussicht stellen.

Hervorzuheben ist, dass zwei Betriebe trotz der vorliegenden technischen Voraussetzungen dieses Verfahrens nicht anwenden. Entgegen dem begründeten Argument des schwierigen Datentransfers (siehe oben) ist jenes einer unzureichenden Heterogenität der Schläge als Voraussetzung für eine nutzbringende Anwendung des Verfahrens nur in Einzelfällen annehmbar.

Eine plausible Erklärung für die Nichtanwendung des Verfahrens der teilflächenspezifischen Aussaat bei Mais war die inadäquate Leistungsfähigkeit der Drillmaschine. Der oftmals genannte zu große Gesamtaufwand für dieses Verfahren könnte mit einer Hemmschwelle für Neueinsteiger begründet werden. Diese ist einerseits in der abstrakten Beschreibung der vorliegenden Heterogenität sowie der Un-

klarheit hinsichtlich ihrer nutzbringenden Verwertung zu vermuten. Zudem ist die fehlende Transparenz der Algorithmen zur Berechnung der Klassifikations- und Applikationskarte sowie der dabei verwendeten Daten einer Annahme dieses Verfahrens hinderlich. Nicht zuletzt dürfte die fehlende Möglichkeit einer Validierung der Ergebnisse der Verbreitung einer derartigen Lösung abträglich sein.

Die Generierung der Klassifikations- und Applikationskarten erfolgte bei den das Verfahren anwendenden Betrieben mithilfe des nahezu gesamten Spektrums der verfügbaren Möglichkeiten (Klassifikationsschema). Die Motivationsgründe für die Wahl eines bestimmten Verfahrens wurden dabei nicht erhoben, so dass eine nähere Betrachtung unterbleiben soll.

### **Handlungsbedarf**

Die Ergebnisse der Umfrage unter sächsischen Landwirten zeigte, dass das Verfahren der teilflächenspezifischen Aussaat bei Mais einen nur geringen Verbreitungsgrad aufweist. Diesbezüglich ist der von den Befragten angeführte Hinderungsgrund eines instabilen Datentransfers bedeutsam. Trotz eines umfangreichen Angebots an Dateiformaten und gerätespezifischen Adaptionen zur Umsetzung von Applikationskarten verhindern strukturelle Unterschiede bei Dateien gleichen Formats oftmals die Datenübertragung. Daher sind die Anbieter derartiger Lösungen zur Behebung dieses Hindernisses angehalten.

Ein weiterer Grund für den Status quo hinsichtlich der Verbreitung des Verfahrens der teilflächenspezifischen Aussaat in der landwirtschaftlichen Praxis ist in dem weitestgehend unbekanntem ökonomischen Potenzial zu sehen, das dieses Verfahren in sich birgt. Aussagen hierzu werden selbst von den Anbietern nur selten und vage getätigt. In der anschaulichen Beweisführung eines konkreten wirtschaftlichen Nutzens sieht der Autor einen starken Anreiz für potenzielle Anwender, sich mit dieser Thematik fachlich auseinanderzusetzen. Zudem sollte der Nachweis erbracht werden, dass diese angebotenen Lösungen ohne wesentlichen Mehraufwand in die betrieblichen Abläufe integriert werden können. Nicht zuletzt sind die Verdeutlichung des Informationsgehalts von Heterogenitätsindikatoren sowie deren transparente Übersetzung in eine entsprechende Aussaatempfehlung wichtige Faktoren zur Förderung des Verständnisses für diese Technologie bei den Anwendern.

### **Handlungsempfehlungen**

Der Vergleich der Ergebnisse der Marktrecherche und der qualitativen Umfrage unter Landwirten offenbarte, dass der umfassenden Praxiseinführung des Verfahrens der teilflächenspezifischen Aussaat bei Mais in der sächsischen Landwirtschaft grundlegende Hemmnisse entgegenstehen. Um diese aufzulösen, wird die Kooperation des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) und wissenschaftlicher Institutionen mit ausgewählten Betrieben und Anbietern empfohlen, um folgende Maßnahmen umzusetzen:

1. Aufzeigen des ökonomischen Potenzials der teilflächenspezifischen Technologie durch vollumfängliche Demonstration desselben im Praxisbetrieb (OFR)
2. Veranschaulichung der Integration des Verfahrens in die betrieblichen Abläufe in Betriebsführungen, Seminaren und Vorträgen
3. Bereitstellen von Entscheidungshilfen zur Klassifizierung der standörtlichen Heterogenität und der Ableitung der Saatempfehlung durch angewandte Forschung.

Zur Erarbeitung des Wissens und der Vermittlung desselben sind die Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden sowie Fachschulen und die Fachpresse einzubeziehen.

Die obigen Empfehlungen zur Erhöhung des Grades der Praxiseinführung des Verfahrens der teilflächenspezifischen Aussaat sind als Teil eines größeren Prozesses zu betrachten. So erfordert die Einführung dieses Verfahrens von einem Betrieb vor allem erhebliche Investitionen in Technologie. Für die Erfassung, Verarbeitung und Analyse großer Datenmengen sind effiziente IT-Infrastrukturen und entsprechende Forschungsleistungen vonseiten der Systementwicklung notwendig. Darüber hinaus hängt die Wirksamkeit dieses Verfahrens von den lokalen agronomischen und klimatischen Bedingungen ab.

Die Forschung sollte ihre Bemühungen deshalb auf die Entwicklung kostengünstigerer Technologien, die Verbesserung der Datenanalyse-Algorithmen und die Anpassung der teilflächenspezifischen Aussaat an verschiedene Anbauregionen richten.

## 9 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Marktrecherche offenbarte ein breites Spektrum von Angeboten zur teilflächenspezifischen Aussaat bei Mais. Diese unterschieden sich sowohl inhaltlich als auch in der Art der Anwendung. Damit der Anwender aus diesem verfügbaren Spektrum eine für ihn geeignete Lösung auswählen kann, wurde eine Systematik zur verständlichen Unterscheidbarkeit der Angebote erarbeitet.

Die als Dienstleistung angebotenen Lösungen ließen aufgrund ihrer Standardisierung reproduzierbare Ergebnisse erwarten. Daher wurden in dieser Gruppe Angebote, die sich methodisch unterscheiden, detailliert miteinander verglichen. Dabei zeigten die Applikationskarten eine nur mäßige Ähnlichkeit hinsichtlich der Beschreibung der Heterogenität der Wachstumsbedingungen. In gleicher Weise differierte sowohl die ausgebrachte Saatmenge als auch der Variationsbereich derselben.

Die ausgewählten Angebote zur Erstellung einer Applikationskarte ermöglichten das einfache Anlegen eines Schrages im System und die Auswahl von Daten mithilfe von Algorithmen. Das Ergebnis der Klassifikation der Wachstumsbedingungen war nur bei den Anbietern EXAgT und NextFarming in vollem Umfang zugänglich. In dieser Phase des Verfahrens sowie nach dem Vorlegen der Applikationskarte wurde dem Anwender die Möglichkeit einer Modifizierung gewährt. Der Algorithmus zur Berechnung der Karten wurde von den Anbietern nicht bekanntgegeben. Eine Validierung des Ergebnisses war aufgrund der Unzugänglichkeit der Satellitendaten und sonstiger Informationen nicht möglich. Die Applikationskarte war in einem der gebräuchlichsten Formate exportierbar.

Die Nutzung der Anwendung wurde von den vier Anbietern gut unterstützt. Dabei wäre zukünftig eine Entscheidungshilfe hinsichtlich der Wahl der Distanz zwischen den Heterogenitätsklassen und damit der Anzahl derselben wünschenswert.

Die qualitative Umfrage unter Landwirten zur Anwendung dieser Technologie offenbarte, dass nur die Hälfte der 16 Teilnehmer über die notwendigen technischen Voraussetzungen verfügte. Praktiziert wurde das Verfahren nur in sechs Betrieben und meist nicht vollumfänglich. Ursachen für die Nicht- oder Teilanwendung waren ungeeignete Technik, geringe Bodenheterogenität, zu hoher Aufwand, andauernde Erprobung und ein schwieriger Datentransfer.

Die Motivation zur teilflächenspezifischen Aussaat bestand in der Erwartung eines höheren Ertrags, der Einsparung an Saatgut, einer gleichmäßigen Abreife und einem homogeneren Erntegut. Letzteres sowie ein geringerer Saatgutverbrauch wurden im Praxisanbau bestätigt.

Der Abgleich der Ergebnisse der Umfrage mit jenen der Marktrecherche identifizierte den Datentransfer als eine Erschwernis bei der Anwendung des Verfahrens. Auch die abstrakte Beschreibung der Hetero-

genität, deren unklare Verwertung, die Intransparenz der Algorithmen und der dabei verwendeten Daten sowie die fehlende Möglichkeit einer Validierung der Ergebnisse dürften der Annahme dieses Verfahrens abträglich sein. Demgegenüber ist die Bedeutung homogener oder zu kleiner Felder zu vernachlässigen.

Um den Grad der Anwendung dieses Verfahrens in der landwirtschaftlichen Praxis zu erhöhen, wird empfohlen, den konkreten wirtschaftlichen Nutzen anschaulich aufzuzeigen und die einfache Integration in die betrieblichen Abläufe nachzuweisen. Zudem ist der Informationsgehalt der Heterogenitätsindikatoren und dessen Übersetzung in eine Aussaatempfehlung zu verdeutlichen.

Zur Umsetzung dieser Empfehlung sollten das LfULG und wissenschaftliche Institutionen mit ausgewählten Betrieben und Anbietern kooperieren, um das ökonomische Potenzial dieser teilflächenspezifischen Technologie durch vollumfängliche Demonstration desselben im Praxisbetrieb aufzuzeigen. Des Weiteren ist die Integration des Verfahrens in die betrieblichen Abläufe auf der Grundlage von Betriebsführungen, Seminaren und Vorträgen zu veranschaulichen. Überdies sind durch angewandte Forschung Entscheidungshilfen zur Klassifizierung der standörtlichen Heterogenität und der Ableitung der Saatempfehlung bereitzustellen.

## **Wissenstransfer**

- 05.09.2024 Feldtag zum Thema "Teilflächenspezifische Aussaat bei Mais" in Fremdiswalde (Vortragspräsentation)
- 07.11.2024 Fachveranstaltung zum Thema "Landwirtschaftlicher Gewässerschutz" in Gröditz (Posterpräsentation)
- 11/2024 Fachbeitrag (Kurzversion) in der Zeitschrift topagrar
- 04/2025 Fachbeitrag (Langversion) in der Zeitschrift topagrar (geplant)

## Literaturverzeichnis

- ABU-HAMDEH, N.H., REEDER, R.C. (2000): Soil thermal conductivity effects of density, moisture, salt concentration and organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, Volume 64 (4), S. 1285-1290.
- ADAMCHUK, V. (2006): Characterizing soil variability using on-the-go sensing technology sensor overview. Site-specific management guidelines. Potash and Phosphate Institut. S. 1-4. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:14387019>
- ADAMCHUK, V., MORGAN, M., UPADHYAYA, S., HUMMEL, J. (2004): On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 44 (1), S. 71-91.
- AKTER, M., MIAH, M.A., HASSAN, M.M., MOBIN, M.N., BATEN, M.A. (2015): Textural influence on surface and subsurface soil temperatures under various conditions. *Journal of environmental science & natural resources*, Volume 8 (2), S. 147-151. <https://doi.org/10.3329/jesnr.v8i2.26882>
- AMELUNG, W., BLUME, H.P., FLEIGE, H., HORN, R., KANDELER, E., KÖGEL-KNABNER, I., KRETZSCHMAR, R., STAHR, K., WILKE, B.M. (2010): Scheffer/Schachtschabel – Lehrbuch der Bodenkunde 16. Auflage, Heidelberg. Spektrum Akademischer Verlag.
- ANDRADE, F.H., CALVIÑO, P., CIRILO, A., BARBIERI, P. (2002): Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. *Agronomy Journal*, Volume 94 (5), S. 975-980.
- ANDREWS, S.S., KARLEN, D.L., CAMBARDELLA, C.A. (2004): The soil management assessment framework. A quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal*. Volume 68 (6), S. 1945-1962.
- ANDRY, H., YAMAMOTO, T., IRIE, T., MORITANI, S., INOUE, M., FUJIYAMA, H. (2009): Water retention, hydraulic conductivity of hydrophilic polymers in sandy soil as affected by temperature and water quality. *Journal of Hydrology*, 373, S. 177-183, <https://doi:10.1016/j.jhydrol.2009.04.020>
- ASKARI, M.S., CUI, J., O'ROURKE, S.M., HOLDEN, N.M. (2015): Evaluation of soil structural quality using VIS-NIR spectra. *Soil Tillage Research*, Volume 146, S. 108-117.
- BACHMEIER, M. (2007): Using a robust variogram find a adequate butterfly neighborhood size for one-step yield mapping using robust fitting paraboloid cones. *Precision Agriculture*, Volume 8 (1-2), S. 75-99.
- BAJOCCO, S., GINALDI, F., SAVIAN, F., MORELLI, D., SCAGLIONE, M., FANCHINI, D., RAPARELLI, E., BREGAGLIO, S.U.M. (2022): On the Use of NDVI to Estimate LAI in Field Crops: Implementing a Conversion Equation Library. *Remote Sensing*, 14, 3554. <https://doi.org/10.3390/rs14153554>
- BALDENHOFER, K. (2019): Lexikon der Fernerkundung, abgerufen von: <http://www.felexikon.info/index.htm>, Abschnitt: Fernerkundung (FE)
- BASSO, B., CAMMARANO, D., CARFAGNA, E. (2013): Review of crop yield forecasting methods and early warning systems. In *Proceedings of the First Meeting of the Scientific Advisory Committee of the*

- Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics, FAO Headquarter, Rome, Italy. S. 18-19.
- BECK, J.H. (2018): Teilflächenspezifische Aussaatregulierung von Mais und deren Auswirkung auf den Ertrag und die Inhaltsstoffe. Master-Arbeit, Georg-August-Universität Göttingen.
- BIRKY, A.K. (2001): NDVI and a simple model of deciduous forest seasonal dynamics. *Ecological Modelling*, Volume 143 (1-2), S. 43-58.
- BOECK, A. (2020): Was bringt das Dreieck? *Landwirt Österreich*, Volume 4. S. 38.
- BRISTOW, K.L., CAMPBELL, G.S., CALISSENDORFF, K. (1993): Test of heat-pulse probe for measuring changes in soil water content. *Soil Science Society of America Journal*, Volume 57 (4), S. 930-934.
- CAMPBELL, G.S., JUNGBAUER, J.D., BIDLAKE, W. R., HUNGERFORD, R. D. (1994): Predicting the effect of temperature on soil thermal conductivity. *Soil Science*, Volume 158 (5), S. 307-313.
- CLAAS KGAA MBH (2017): Precision Farming – EASY | CLAAS. <http://www.claas.de/produkte/easy/precision-farming/datenauswertung/ertragskartierung>. In: BECK, J.H. (2018): Teilflächenspezifische Aussaatregulierung von Mais und deren Auswirkung auf den Ertrag und die Inhaltsstoffe. Master-Arbeit, Georg-August-Universität Göttingen.
- CORONEL, E.G., ALESSO, C.A., BOLLERO, G.A., ARMSTRONG, K.L., MARTIN, N.F. (2020): Field-specific yield response to variable seeding depth of corn in the Midwest. *Agrosystems, Geosciences and Environment*, Volume 3 (1), S. 1-14. DOI:10.1002/agg2.20034
- CORWIN, D.L., LESCH, S.M. (2003): Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture. *Agronomy Journal*, Volume 95 (3). DOI:10.2134/agronj2003.0455
- CORWIN, D.L., LESCH, S.M. (2005): Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 46, S. 11-43.
- COX, W.J., CHERNEY, J.H. (2015): Field-scale studies show site-specific corn population and yield responses to seeding depths. *Agronomy Journal*, Volume 107 (6), S. 2475-2481. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0308>
- DATT, B. (1999): A new reflectance index for remote sensing of chlorophyll content in higher plants: Tests using Eucalyptus leaves. *Journal of Plant Physiology*, Volume 154 (1), S. 30-36.
- DEININGER, O. (2024): Wann sich variable Aussaat lohnt. *Agrarzeitung* Nr. 13, S. 16.
- DEMMELE, M., HAHNENKAMM, O., KORMANN, G., PETERREINS, M. (2000): Gleichstandsamt bei Silomais – Ergebnisse aus zwei Versuchsjahren. *Landtechnik – Agricultural Engineering*, Volume 55 (3), S. 210-211.
- DE SABANDO, M.J.L., DIAZ-ZORITA, M. (2022): Field methods for making productivity classes for site-specific management of wheat. *Precision Agriculture*, Volume 23, S. 1153-1173.
- D'HOSE, T., COUGNON, M., DE VliegHER, A., VANDECASTEELE, B., VIAENE, N., CORNELIS, W., VAN BOCKSTAELE, E., REHEUL, D. (2014): The positive relationship between soil quality and crop

- production: A case study on the effect of farm compost application. *Applied Soil Ecology*, Volume 75, S. 189-198.
- DOHMEN, B., REH, A. (2006): pre agro – Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau Forschungsverbundprojekt pre agro.
- DONG, J., ZHUANG, D., HUANG, Y., FU, J. (2009): Advances in multi-sensor data fusion: Algorithms and applications. *Sensors* 2009, 9 (10), S. 7771-7784.
- DU, Z., YANG, L., ZHANG, D., CUI, T., HE, X., XIAO, T., XIE, C., LI, H. (2022): Corn variable-rate seeding decision based on gradient boosting decision tree model. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107025.
- EICHHORN H., BÖHRNSEN A., HAMMER W., SOURELL H. (HRSG.) (1999): *Landtechnik: Landwirtschaftliches Lehrbuch*, 7. Auflage, Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer.
- ELMORE, R., AL-KAISI, M., HANNA, M. (2014): Corn seeding depth: Back to the basics. *Integrated Crop Management News*. Ames: Iowa State University Extension. Retrieved from [https://extension.umd.edu/sites/default/files/\\_docs/Agronomy%20News%20May%201%202014.pdf](https://extension.umd.edu/sites/default/files/_docs/Agronomy%20News%20May%201%202014.pdf)
- EPRON, D., BOSC, A., BONAL, D., FREYCON, V. (2006): Spatial variation of soil respiration across a topographic gradient in a tropical rain forest in French Guiana. *Journal of Tropical Ecology*, Volume 22, S. 565-574.
- FANG, Y., MIAO, Q., LIU, S., XU, B., ZHANG, S., KADAMBOT, H., SIDDIQUE, M., PALTA, J., CHEN, Y. (2019): Optimal Wheat Seeding Rate is Influenced by Cultivar-Specific Topsoil and Subsoil Root Traits. *Agronomy Journal. Crop Economics, Production, and Management*. Volume 111 (6). <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0146>
- FASSNACHT, K.S., GOWER, S.T., MACKENZIE, M.D., NORDHEIM, E.V., LILLESAND, T.M. (1997): ESTIMATING the leaf area index of North Central Wisconsin forests using the landsat thematic mapper. *Remote Sensing of Environment*, Volume 61 (2), S. 229-245.
- FRAMPTON, W.J., DASH, J., WATMOUGH, G., MILTON, E.J. (2013): Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 82, S. 83-92.
- FRANZLUEBBERS, A.J., HONS, F.M. (1996). Soil-profile distribution of primary and secondary plant-available nutrients under conventional and no tillage. *Soil and Tillage Research*, Volume 39 (3-4), S. 229-239.
- GAMAGE, D.N.V., BISWAS, A., STRACHAN, I.B. (2019): Spatial variability of soil thermal properties and their relationships with physical properties at field scale. *Soil and Tillage Research*, Volume 193, S. 50-58.

- GITELSON, A.A., VIÑA, A., VERMA, S.B., RUNQUIST, D.C., ARKEBAUER, T.J., KEYDAN, G., LEAVITT, B., CIGANDA, V., BURBA, G.G., SUYKER, A.E. (2006): Relationship between gross primary production and chlorophyll content in crops: Implications for the synoptic monitoring of vegetation productivity. *Journal of Geophysical Research*, Volume 111.
- GÖGGERLE, T. (2020): Was bedeutet eigentlich ISO-XML?, *agrarheute*.
- GOZUBENLI, H., KILINC, M., SENER, O., KONUSKAN, O. (2004): Effects of single and twin row planting on yield and yield components in maize. *Asian Journal of Plant Sciences*, Volume 3 (2), S. 203-206.
- GRIEPENTROG, H.W. (1999): Zur Bewertung der Flächenverteilung von Saatgut. *Agrartechnische Forschung*. Volume 5 (2), S. 117-124.
- GRIEPENTROG, H.W., NIELSEN, J., OLSEN, J.M., WEINER, J. (2011): Simulating the influence of crop spatial pattern on canola yield. *Precision Agriculture*, S. 180-190.
- GRIFFIN, S., HOLLIS, J. (2013): Using profile soil electrical conductivity survey data to predict wheat establishment rates in the United Kingdom. In *Precision Agriculture'13*; Wageningen Academic Publishers: Wageningen, The Netherlands, S. 491-497.
- GUAN, X., HUANG, J., GUO, N., BI, J., WANG, G. (2009): Variability of soil moisture and its relationship with surface albedo and soil thermal parameters over the loess plateau. *Advances in Atmospheric Sciences*, Volume 26, S. 692-700.
- HAINING, R.P. (2001): Spatial Autocorrelation. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. University of Cambridge, UK. S. 14763-14768.
- HALLAUER, A.R. (1990): Methods used in developing maize inbreds. *Agricultural and Food Sciences, Maydica*, Volume 35, S. 1-16. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:82396263>
- HEEGE, H.J. (2013). Site-specific sowing. In: *Precision in crop farming: Site-specific concepts and sensing methods: Applications and results* (S. 171-192). Dordrecht, the Netherlands: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-6760-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6760-7_8)
- HEIL, K., SCHMIDHALTER, U. (2017): The application of EM38: Determination of soil parameters, selection of soil sampling points and use in agriculture and archäology. *Sensors*, Volume 17, 2540.
- HEIPKE, C. (2017): *Photogrammetrie und Fernerkundung: Handbuch der Geodäsie*. Herausgegeben von Willi Freuden und Reiner Hummel. Springer Spektrum.
- HEITMAN, J.L., HORTON, R., REN, T., NASSAR, I.N., DAVIS, D.D. (2008): A test of coupled soil heat and water transfer prediction under transient boundary temperatures. *Soil Science Society of America Journal*, Volume 72 (5), S. 1197-1207, <https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0234>
- HEITMAN J., ZHANG X., XIAO X., REN T., HORTON R. (2020): Advances in heat-pulse methods: Measuring soil water evaporation with sensible heat balance. *Soil Science Society of America Journal*, Volume 84, S. 1371-1375, <https://doi.org/10.1002/saj2.20149>

- HEZARJARIBI, A. (2008): Site-specific irrigation: Improvement of application map and a dynamic steering of modified centre pivot irrigation system. Dissertation, Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Quedlinburg und Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung.
- HIMMELFREUNDPOINTNER, M. (2024): Nutzen von «Geoseed» unter der Lupe. Landtechnik Schweiz, Volume 1, S. 53-55.
- HINCK, S., MUELLER, K., EMEIS, N.; CHRISTEN, O. (2009): Ermittlung pflanzenbaulich relevanter Bodenkenndaten mit Hilfe ausgewählter Bodensensorik Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft.
- HINCK, S., EMEIS, N., MUELLER, K. (2013): Teilflächenmanagement – Vergleich von Bodenart, Ertrag und Nährstoffstatus. Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. Tagungsbeitrag, Rostock.
- HORSCH (2024): mündliche Mitteilung.
- HU, G., ZHAO, L., WU, X., LI, R., WU, T., XIE, C., QIAO, Y., SHI, J., LI, W., CHENG, G. (2016): New Fourier-series-based analytical solution to the conduction–convection equation to calculate soil temperature, determine soil thermal properties, or estimate water flux. International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 95, S. 815-823.
- HUBER, G., MAIDL, F.X. (2002): Yield formation and nitrogen uptake of maize on heterogeneous growing sites – spectroscopic detection of the nutrition status. European Society for Agronomy, S. 633-635.
- JIA, X., FANG, Y., HU, B., YU, B., ZHOU, Y. (2023): Development of Soil Fertility Index Using Machine Learning and Visible-Near-Infrared Spectroscopy. Land, Volume 12, 2155.  
<https://www.mdpi.com/2073-445X/12/12/2155>
- JIANG, D., YANG, X., CLINTON, N., WANG, N. (2004). An artificial neural network model for estimating crop yields using remotely sensed information. International Journal of Remote Sensing, 25 (9), S. 1723-1732.
- JOHNSON, C., MORTENSEN, D., WIENHOLD, B., SHANAHAN, J., DORAN, J. (2003): Site-Specific Management Zones Based on Soil Electrical Conductivity in a Semiarid Cropping System. Agronomy Journal, Volume 95, 303.
- KAISER, H.F. (1958): The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. Psychometrika, 23, S. 187-200.
- KANG, Q., ZHANG, D., CHEN, S. (2003): Simulation of dissolution and precipitation in porous media. Journal of Geophysical Research, Volume 108 (B10).
- KAZLAUSKAS, M., ŠARAUSKIS, E., ROMANECKAS, K., STEPONAVICIUS, D., JASINSKAS, A., NAUJOKIENE, V., BRUCIENE, I., ŽIOGAS, T., VAICEKAUSKAS, D., ANUŠAUSKAS, J. et al. (2021): Effect of variable rate seeding on winter wheat seedbed and germination parameters using soil apparent electrical

- conductivity. In Proceedings of the Engineering for Rural Development: 20th International Scientific Conference, Engineering for Rural Development, Jelgava, Latvia, Volume 20, S. 1108-1113.
- KEINER, L.E., YAN, X.H. (1998): A neural network model for estimating sea surface chlorophyll and sediments from thematic mapper imagery. *Remote Sensing of Environment*, Volume 66 (2). S. 153-165.
- KHALEGHI, B., KHAMIS, A., KARRAY, F., RAZAVI, S. (2013): Multisensor data fusion: A review of the state-of-the-art. *Information Fusion*, Volume 14 (1), S. 28-44.
- KITCHEN, N.R., SUDDUTH, K.A., DRUMMOND, S.T. (1999): Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for precision agriculture. *Agronomy Journal*, Volume 91 (3), S. 455-459.
- KRAML, B. (2024): Variable Maisaussaat als Antwort auf Trockenperioden. *Bauernjournal*, Volume 2, S. 4-5.
- KUANG, B., MAHMOOD, H.S., QURAIISHI, Z., HOOGMOED, W.B., MOUAZEN, A.M., HENTEN, V. (2012): Sensing soil properties in the laboratory, in situ and on-line. *Advances in Agronomy*, Volume 114, S. 155-223.
- KUANG, B., TEKIN, Y., MOUAZEN, A.M. (2015): Comparison between artificial neural network and partial least squares for online visible and near-infrared spectroscopy measurement of soil organic carbon, pH and clay content. Department of Environmental Science and Technology, Cranfield University, Vocational School of Technical Sciences, Uludag University, Bursa, Turkey. *Soil & Tillage Research*, Volume 146, S. 243-252.
- KUNKEL, F. (2020): Nutzung von Satellitendaten für den standort-spezifischen Pflanzenbau am Beispiel der Talking Fields Basiskarte für den Winterrapsanbau im Anbaujahr 2018/2019. Master-Arbeit. Hochschule Neubrandenburg.
- KUNKEL, T. (2022): [https://landwirtschaft.sachsen.de/download/Teilflaechenspezifische\\_Aussaat\\_20221026\\_Kunkel.pdf](https://landwirtschaft.sachsen.de/download/Teilflaechenspezifische_Aussaat_20221026_Kunkel.pdf)
- LEHNERT, L., MEYER, H., WANG, Y., MIEHE, G., THIES, B., REUDENBACH, C., BENDIX, J. (2015): Retrieval of grassland plant coverage on the Tibetan plateau based on a multi-scale, multi-sensor and multi-method approach. *Remote Sensing of Environment*, Volume 164, S. 197-207.
- LEROUX, C., TISSEYRE, B. (2019): How to measure and report within-field variability: a review of common indicators and their sensitivity. *Precision Agriculture*, Volume 20, S. 562-590. <https://doi.org/10.1007/s11119-018-9598-x>
- LICHT, M.A., LENSSEN, A.W., ELMORE, R.W. (2017): Corn (*Zea mays* L.) seeding rate optimization in Iowa, USA. *Precision Agriculture*, Volume 18, S. 452-469. <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9464-7>

- LIEBLER, J. (2003): Feldspektroskopische Messungen zur Ermittlung des Stickstoffstatus von Winterweizen und Mais auf heterogenen Schlägen. Technische Universität München, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Dissertation.
- LILIENTHAL H., GREEF J.M. (2017): Monitoring landwirtschaftlicher Flächen mit Satellitenfernerkundung. Journal für Kulturpflanzen. Volume 69 (2). S. 76-79. VERLAG EUGEN ULMER KG, STUTTGART. ISSN 1867-0911, DOI: 10.1399/JFK.2017.02.12
- LIPIEC, J., HATANO, R. (2003): Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. Geoderma, Volume 16, S. 107-136, [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00097-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00097-1)
- LIPIEC, J., NOSALEWICZ, A., PIETRUSIEWICZ, J. (2011): Crop responses to soil physical conditions. In: Encyclopedia of Agrophysics (Eds J. Gliński, J. Horabik, and J. Lipiec), 167-176, Springer Dordrecht, Heidelberg, London, New York, <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3585-136>
- LIU, Z., XU, J., LI, X., WANG, J. (2018): Mechanisms of biochar effects on thermal properties of red soil in south China. Geoderma, Volume 323, S. 41-51,
- LLOVERAS, J., MANENT, J., VIUDAS, J., LÓPEZ, A., SANTIVERI, P. (2004): Einfluss der Aussaatrate auf den Ertrag und die Ertragskomponenten von bewässertem Winterweizen in einem mediterranen Klima. Agronomie-Zeitschrift, Volume 96, S. 1258-1265.
- LU, S., REN, T., GONG, Y., HORTON, R. (2007): An improved model for predicting soil thermal conductivity from water content at room temperature. Soil Science Society of America Journal, Volume 71 (1); S. 8-14.
- LÜTKE-ENTRUP N., OEHMICHEN J. (2000): Lehrbuch des Pflanzenbaues: Kulturpflanzen. Band 2, Verlag Thomas Mann, Gelsenkirchen.
- LÜTKE-ENTRUP, N., SCHWARZ, F., HEILMANN, H. (2013): Handbuch Mais: Grundlagen, Anbau, Verwertung, Ökonomie 5. Auflage, Frankfurt am Main, DLG-Verlag.
- MAIDL, F. X., SPICKER, A., WENG, A., HÜLSBERGEN, K. J. (2019): Ableitung des teilflächenspezifischen Kornertrags von Getreide aus Reflexionsdaten. In A. Meyer-Aurich, Gandorfer, M. , Barta, N., Gronauer, A., Kantelhardt, J., Floto, H., Fokus: Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen – ein Widerspruch in sich?, Referate der 39. GIL-Jahrestagung, S. 131-134.
- MALDONADO, L. (2023): Cloud cover and optical satellite sensors. Medium. Medium. <https://medium.com/data-and-beyond/cloud-cover-and-optical-satellite-sensors-4fbdbc3e1b1f>
- MALHI, S.S., GRANT, C.A., JOHNSTON, A.M., GILL K.S. (2001): Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: review. Soil and Tillage Research, Volume 60 (3-4), S. 101-122.

- MASHINGAIDZE, A.B., VAN DER WERF, W., LOTZ, L.A.P., CHIPOMHO, J., KROPFF, M.J. (2009): Narrow rows reduce biomass and seed production of weeds and increase maize yield. *Annals of applied biology*, Volume 155 (2), S. 207-218.
- MAY, W.E., WOOD, M.D., PIERO, K.D. (2019): Niger response to nitrogen and seeding depth in the northern great plains. *Agronomy Journal*, Volume 111 (2), S. 741-748. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.08.0541>
- MELLANDER P.E., BISHOP K., LUNDMARK T. (2004): The influence of soil temperature on transpiration: a plot scale manipulation in a young scots pine stand. *Forest Ecology and Management*, Volume 195, S. 15-28, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.02.051>
- MIAO, Y., MULLA, D.J., ROBERT, P.C. (2006): Spatial variability of soil properties and crop yield: Implications for site-specific management. *Precision Agriculture*, S. 335-350. Springer, Dordrecht.
- MITCHELL-FORSYTH, B., HARUNA, S., DOWNS, K., (2021): Variability of soil thermal properties along a catena in Middle Tennessee, USA. *International Agrophysics*, Volume 35 (2), S. 209-219. [https://www.researchgate.net/publication/354099843\\_Variability\\_of\\_Soil\\_Thermal\\_Properties\\_Along\\_a\\_Catena\\_in\\_Middle\\_Tennessee\\_USA](https://www.researchgate.net/publication/354099843_Variability_of_Soil_Thermal_Properties_Along_a_Catena_in_Middle_Tennessee_USA)
- MÖBIUS, J. (2016): Technik-Trend: Die teilflächenspezifische Berechnung. *Agrarheute*, <https://www.agrarheute.com/pflanze/technik-trend-teilflaechenspezifischen-berechnung-519617>
- MORAN, M., INOUE, Y., BARNES, E. (1997): Opportunities and Limitations for Image-Based, Remote Sensing in Precision Crop Management Elsevier Science Inc.
- MORENTE, B., ELORZA, P.B., DÍAZ-AMBRONA, C.G.H., COSTA, G.D.D., GRIEPENTROG, H.W. (2013): Even-sowing pattern strategies for a low-input organic system in forage maize. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, Volume 15 (4), S. 171-179.
- MOUAZEN, A.M., DUMONT, K., MAERTENS, K., RAMON, H. (2003): Two-dimensional prediction of spatial variation in topsoil compaction of a sandy loam field-based on measured horizontal force of compaction sensor, cutting depth and moisture content. *Soil and Tillage Research*, Volume 74 (1), S. 91-102.
- MOUAZEN, A. M., KAROUI, R., DE BAERDEMAEKER, J., RAMON, H. (2006): Characterization of Soil Water Content Using Measured Visible and Near Infrared Spectra. *Soil Science Society of America Journal*, Volume 70 (4), S. 1295-1302. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0297>
- MOUAZEN, A.M., MALEKI, M.R., DE BAERDEMAEKER, J., RAMON, H. (2007): On-line measurement of some selected soil properties using a VIS-NIR sensor. *Soil and Tillage Research*, Volume 93 (1), S. 13-27. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.03.009>
- MUELLER, D., SISSON, A. (2013). *Corn field guide*. Ames: Iowa State University Extension and Outreach.
- MUNNAF, M. A., HAESAERT, G., VAN MEIRVENNE, M., MOUAZEN, A. M. (2020 A). Map-based site-specific seeding of consumption potato production using high-resolution soil and crop data

- fusion. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 178, Article 105752. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105752>
- MUNNAF, M.A., HAESAERT, G., VAN MEIRVENNE, M., MOUAZEN, A.M. (2020 B): Site-specific seeding using multi-sensor and data fusion techniques: A review. *Advances in Agronomy*, Volume 161, S. 241-323.
- MUNNAF, M.A., HAESAERT, G., MOUAZEN, A.M. (2021): Map-based site-specific seeding of seed potato production by fusion of proximal and remote sensing data. *Soil and Tillage Research*, Volume 206, 104801.
- MUNNAF, M.A., MOUAZEN, A.M. (2021): Development of a soil fertility index using on-line Vis-NIR spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 188, S. 106341.
- MUNNAF, M.A., HAESAERT, G., MOUAZEN, A.M. (2022): Site-specific seeding for maize production using management zone maps delineated with multi-sensors data fusion scheme. *Soil and Tillage Research*, Volume 220, 105377.
- MUNNAF, M.A., MOUAZEN, A.M. (2023): An automated system of soil sensor-based site-specific seeding for silage maize: A proof of concept. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 209 (C).
- NAUMANN, M., KOCH, M., THIEL, H., GRANSEE, A., PAWELZIK, E. (2020): The importance of nutrient management for potato production part II, plant nutrition and tuber quality. *Potato Research*, Volume 63, S. 121-137.
- NAWAR, S., CORSTANJE, R., HALCRO, G., MULLA, D., MOUAZEN, A.M. (2017): Delineation of Soil Management Zones for Variable-Rate Fertilization: A Review. *Advances in Agronomy*, Volume 143, S. 175-245.
- NIELSEN, R., LEE, J., CAMBERATO, J. (2015): Yield response to plant population for corn in Indiana. Purdue University. <http://www.agry.purdue.edu/ext/corn/news/timeless/SeedingRateGuidelines.html>.
- NIKOOSOKHAN, S., NOWAMOOZ, H., CHAZALLON, C. (2016): Effect of dry density, soil texture and time-spatial variable water content on the soil thermal conductivity. *Geomechanics and Geoengineering*, Volume 11 (2), S. 149-158.
- NKONGOLO, N.V., HATANO, R., KAKEMBO, V. (2010): Diffusivity models and greenhouse gases fluxes from a forest, pasture, grassland and corn field in northern Hokkaido, Japan. *Pedosphere*, Volume 20 (6), S. 747-760.
- NOACK P. (2007): Ertragskartierung im Getreidebau (KTBL-Heft Band 70) (Darmstadt: KTBL)
- NOACK, P.H., MUHR, T., DEMMEL, M. (2003): An algorithm for automatic detection and elimination of defective yield date. *Precision Agriculture '03: Proceedings of the 4th European Conference of Precision Agriculture*. S. 445-450.

- NOLIN, M., FORAND, G., SIMARD, R., CAMBOURIS, A., KARAM, A., ROBERT, P., RUST, R., LARSON, W. (2001): Soil specific relationship between corn/soybean yield, soil quality indicators and climatic data. *Agricultural and Food Sciences, Environmental Science*, S.1-16.
- OCHSNER, T.E., HORTON, R., REN, T. (2001): A new perspective on soil thermal properties. *Soil Science Society of America Journal*, Volume 65 (6), S. 1641-1647.
- OCHSNER, T.E., SAUER, T.J., HORTON, R. (2007): Soil heat capacity and heat storage measurements in energy balance studies. *Agronomy Journal*, Volume 99, S. 311-314. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0103S>
- o.V. (2024): Optimierte Standraumverteilung im Mais. <https://lfl.bayern.de/ipz/mais/344516/index.php>
- PENG, S., PIAO, S., WANG, T., SUN, J., SHEN, Z. (2009): Temperature sensitivity of soil respiration in different ecosystems in China. *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 41, S. 1008-1014. doi:10.1016/j.soilbio.2008.10.023
- PETER, R., ESCHHOLZ, T.W., STAMP, P., LIEDGENS, M. (2009): Swiss Flint maize landraces—A rich pool of variability for early vigour in cool environments. *Field Crops Research*, Volume 110 (2), S. 157-166.
- PETERS-LIDARD, C.D., BLACKBURN, E., LIANG, X., WOOD, E.F. (1998): The effect of soil thermal conductivity parameterization on surface energy fluxes and temperatures. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Volume 55 (7), S. 1209-1224.
- PEYKER, W., KERSCHBERGER, M., FARACK, M., KOLBE, R. (2008): Standpunkt zur Standraumverteilung im Maisanbau, Jena, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2. Auflage.
- PLANT, R.E. (2001): Site-specific management: The application of information technology to crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 30, S. 9-29.
- POHL, C., VAN GENDEREN, J. L. (1998): Review article - Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *International Journal of Remote Sensing*, Volume 19 (5), S. 823-854.
- POTH, S. (2024): Wir ernten, was wir säen. *Bauernzeitung* Nr. 32, S. 28-29.
- RAVAZZANI, G., CURTI, D., GATTINONI, P., DELLA, V., FIORUCCI, A., ROSSO, R. (2016): Assessing groundwater contribution to streamflow of a large alpine river with heat tracer methods and hydrological modelling. *River Research and Applications*, Volume 32 (5); S. 871-884.
- RAVAZZANI, G. (2017): Open hardware portable dual-probe heat-pulse sensor for measuring soil thermal properties and water content. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 133, S. 9-14.
- RECKLEBEN, Y. (2007): Das EM38-System ein Bodensensor für die Praxis! *Bauernblatt Schleswig-Holstein*, S. 22-23.
- RECKLEBEN, Y. (2011): Maisanbau – welcher Reihenabstand ist der Richtige. *LANDTECHNIK – Agricultural Engineering.Eu*, Volume 66 (5), S. 370-372.

- RECKLEBEN, Y., BRANDENBURG, S. (2019): Standraumverteilung bei Mais und deren Einfluss auf die Durchwurzelung und Nährstoffausnutzung. *LANDTECHNIK – Agricultural Engineering.Eu*, Volume 74 (6), S. 136-144.
- REEVES, G.F., COX, W.J. (2013): Inconsistent Responses of Corn to Seeding Rates in Field-Scale Studies. *Agronomy Journal, Crop Economics, Production & Management*, Volume 105 (3), S. 693-704.
- REITZ, P. (1997): Untersuchungen zur Ertragskartierung während der Getreideernte mit dem Mähdrescher Forschungsbericht Agrartechnik 305. Dissertation, Universität Hohenheim.
- RENÉ-LAFOREST, F.F. (2015): Real-time variable control technologies for precision agriculture. McGill University, Montreal, Canada, Master's thesis. <https://escholarship.mcgill.ca/concern/theses/fx719q20j>
- REYANA, A., KAUTISH, S., KARTHIK, P.M., S., AL-BALTAH, I.A., JASSER, M.B., MOHAMED, A.W. (2023): Accelerating Crop Yield: Multisensor Data Fusion and Machine Learning for Agriculture Text Classification. *IEEE Acces*, Volume 11, S. 20795-20805.
- REYNS, P., MISSOTTEN, B., RAMON, H., DE BAERDEMAEKER, J. (2002): A Review of combined Sensors for Precision Farming. *Precision Agriculture*, Springer Science.
- ROVDAN, E.N., USOWICZ, B. (2002): Investigation of thermal conductivity of some Polesye soils. In: *Proceedings of the Polish-Ukrainian-Byelorussian conference on natural environment of Polesye – current state and changes*, S. 78-79.
- RUBIO, G., WALK, T., GE, Z., YAN, X., LIAO, H., LYNCH, J.P. (2001): Root gravitropism and below-ground competition among neighbouring plants: A modelling approach, *Annals of Botany*, Volume 88 (5), S. 929-940.
- RUSS, G., BRENNING, A. (2010): Data mining in precision agriculture: Management of spatial information. In: Hüllermeier, E., Kruse, R., Hoffmann, F. (eds): *Computational intelligence for knowledge-based system design. IPMU 2010. Lecture notes in Computer Science. Volume 6178*. 350-359.
- ŠARAUSKIS, E., KAZLAUSKAS, M., NAUJOKIENE, V., BRUCIENE, I., STEPONAVICIUS, D., ROMANECKAS, K., JASINSKAS, A. (2022): Variable Rate Seeding in Precision Agriculture: Recent Advances and Future Perspectives. *Agriculture*, Volume 12, 305. <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/2/305>
- ŠARAUSKIS, E., KAZLAUSKAS, M., BRUČIENĖ, I. et al. (2023): Impact of soil electrical conductivity-based site-specific seeding and uniform rate seeding methods on winter wheat yield parameters and economic benefits. *Precision Agriculture*, Volume 24, S. 2438-2455.
- SCHAEPMANN, M., WULF, H. (2015): Grundlagen der Fernerkundung – 14, Vortrag, University of Zurich, Department of Geography.

- SCHMID, A. (2007): Erfassung des aktuellen Stickstoffstatus von Kulturpflanzen mit berührungsloser Sensorik zur Optimierung der teilflächenspezifischen Bestandesführung. Dissertation, Technische Universität München.
- SCHMIDT, K. (2009): Hyperspektrale Signaturen: Verfahren zur Identifikation des Zustandes von Pflanzen und anderen Objekten mittels Fernerkundung. Patentschrift (10 2009 040 944.0) beim Deutschen Patent und Markenamt.
- SCHMIDT, M. (2019): Mit SoilXplorer zur teilflächenspezifischen Bodenbearbeitung! <https://www.agxor.at/mit-soilxplorer-zur-teilflaechenspezifischen-bodenbearbeitung/>
- SCHMITT, K., FISCH, R. (1992): Silomais – Höhere Erträge durch engeren Reihenabstand. top agrar, Heft 4, S. 70-71.
- SCHREIBER, P. (1992): Einfluss der Wasser- und Nährstoffversorgung auf die Kolbenbildung und den Kornertrag von Mais (*Zea mays* L.). Dissertation, Nr. 9664, Naturwissenschaftliche Fakultät, ETH Zürich.
- SEIFERLIN, K., KARGL, G., KÖMLE, N. (2003): The effect of cementation on the thermal conductivity of porous media. Abstract EAE03-A-10748, Journal of Geophysical Research, Abstracts 5, (EGS/AUG/EUG/ 2003).
- SHARRATT, B.S., MCWILLIAMS, D.A. (2005): Microclimatic and rooting characteristics of narrow-row versus conventional-row com. Agronomy Journal, Volume 97, S. 1129-1135.
- SONG, R., WU, C., MA, L., GUO, J., XING, F. (2003): Comparison of roots distribution in different maize plant type cultivars in the Songnen plain. Chinese Journal of Applied Ecology, Volume 14 (11), S. 1911-1913.
- SORIANO-DISLA, J.M., JANIK, L.J., VISCARRA ROSSEL, R.A., MACDONALD, L.M., MCLAUGHLIN, M.J. (2014): The performance of visible, near- and mid-infrared reflectance spectroscopy for prediction of soil physical, chemical and biological properties. Applied Spectroscopy Reviews, Volume 49, S. 139-186.
- SOUCEK, R., PIPPIG, G. (1990): Maschinen und Geräte für Bodenbearbeitung, Düngung und Aussaat. Reihe Landmaschinenteknik, 1. Auflage, Verlag Technik, Berlin).
- SPICKER, A.B. (2016): Entwicklung von Verfahren der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung zu Wintergerste (*Hordeum vulgare* L.) und Winterraps (*Brassica napus* L.) auf Grundlage reflexionsoptischer Messungen. Technische Universität München, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Dissertation.
- STANLEY, J.D., MEHRING, G.H., WIERSMA, J., RANSOM, K. (2020): A Decision Support System to Guide Grower Selection of Optimal Seeding Rates of Wheat Cultivars in Diverse Environments. Frontier in Plant Science, Section Crop and Product Physiology. Volume 11, <https://www.frontiersin.org/journals/plantscience/articles/10.3389/fpls.2020.00779/full>

- STEINMAYR, T. (2002): Fehleranalyse und Fehlerkorrektur bei der lokalen Ertragsermittlung im Mährescher zur Ableitung eines standardisierten Algorithmus für die Ertragskartierung. Dissertation, Technische Universität München.
- SUDDUTH, K.A., KITCHEN, N.R., DRUMMOND, S.T. (1998): Soil conductivity sensing on claypan soils: Comparison of electromagnetic induction and direct methods. In Proceedings of the 4th International Conference on Precision Agriculture, St. Paul, MN, USA, 19.-22.07.1998; Robert, P.C., Rust, R.H., Larson, W.E.; SSSA: Madison, WI, USA, S. 979-990.
- SUN, J., YANG, L., ZHANG, D., HU, J., CUI, T., HE, T., ZHAO, H. (2023): Development of a prediction model to determine optimal sowing depth to improve maize seedling performance. *Biosystems Engineering*, Volume 234, S. 206-222.
- TAMAGNO, S., GRECO, I.A., ALMEIDA, H., BORRÁS, L. (2015): Physiological differences in yield related traits between flint and dent Argentinean commercial maize genotypes. *European Journal of Agronomy*, Volume 68, S. 50-56.
- TARNAWSKI, V.R., WAGNER, B., LEONG, W.H., MCCOMBIE, M., COPPA, P., BOVESECCHI, G. (2021): Soil thermal conductivity model by de Vries: Re-examination and validation analysis. *European Journal of Soil Science*, Volume 72 (5), S. 1940-1953,  
<https://doi.org/10.1111/ejss.13117>
- TETIO-KAGHO, F., GARDNER, F.P. (1988): Response of maize to plant Population density. II. Reproductive development, yield, and yield adjustments. *Agronomy Journal*, Volume 80, S. 935-940.
- UNTERSEER, S., POPHALY, S.D., PEIS, R., WESTERMEIER, P., MAYER, M., SEIDL, M.A. (2016): A comprehensive study of the genomic differentiation between temperate Dent and Flint maize. *Genome Biology*, Volume 17, 137. <https://doi.org/10.1186/s13059-016-1009-x>
- USOWICZ, B., KOSSOWSKI, J., BARANOWSKI, P., (1996): Spatial variability of soil thermal properties in cultivated fields. *Soil and Tillage Research*, Volume 39, S. 85-100.
- USOWICZ, B., LIPIEC, J., MARCZEWSKI, W., FERRERO, A. (2006): Thermal conductivity modelling of terrestrial soil media – A comparative study. *Planetary and Space Science*, Volume 54, S. 1086-1095.
- USOWICZ, B., LIPIEC, J. (2017): Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil. *Soil and Tillage Research*, Volume 174, S. 241-250.
- USOWICZ, B., ŁUKOWSKI, M.I., RUDIGER, C., WALKER, J.P., MARCZEWSKI, W. (2017): Thermal properties of soil in the Murrumbidgee River Catchment (Australia). *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Volume 115, S. 604-614,  
<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.08.021>
- VANDEN AUWEELE, W., BOON, W., BRIES, J., COPPENS, G., DECKERS, J., ELSEN, F., MERTENS, J., VANDENDRIESSCHE, H., VER ELST, P., VOGELS, N. (2000): "De chemische bodemvruchtbaarheid van

- het Belgische akkerbouw – en weilandareaal." The Chemistry of Soil Fertility of Belgium Arable and Grass Lands. Belgium Soil Service Department Heverlee, Belgium.
- VAN ROEKEL, R.J., COULTER, J.A. (2011): Agronomic Responses of Corn to Planting Date and Plant Density. *Agronomy Journal*, Volume 103 (5). S. 1414. DOI:10.2134/agronj2011.0071
- VASILINIUC, I., PATRICHE, C. (2011): Selecting parameters for a soil quality index. ISSN 1684–9094. *Грунтознавство*. Т. 12, № 1–2, Volume 12, S. 46-56.
- VINZENT, B., MAIDL, F.X., GANDORFER, M. (2024): Teilflächenspezifische Aussaat von Körnermais: Potenziale und Limitationen. 44. GIL-Jahrestagung, Biodiversität fördern durch digitale Landwirtschaft. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.. Stuttgart, PISSN: 1617-5468. ISBN: 978-3-88579-738-8., S. 431-436.
- VISCARRA ROSSEL, R.A., RIZZO, R., DEMATTE, J.A.M., BEHRENS, T. (2010): Spatial modeling of a soil fertility index using visible–near-infrared spectra and terrain attributes. *Soil Science Society of America Journal*, Volume 74, S. 1293.
- WALCZAK, R., USOWICZ, B. (1994): Variability of moisture, temperature and thermal properties in bare soil and in crop field. *International Agrophysics*, Volume 8 (1), S. 161-168.
- WANG, S.-H. (2001): Einfluss von Blattstellung und Bestandesdichte auf Ertrag, Qualität, Lichtaufnahme und Blattflächenindex bei Silomaisarten verschiedenen Wuchstyps. Dissertation, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Humboldt-Universität, Berlin.
- WANG, Q., ADIKU, S., TENHUNEN, J., GRANIER, A. (2005): On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. *Remote Sensing of Environment*, Volume 94 (2), S. 244-255.
- WANG, Z., BALOCH, S.K., SUN, M. et al. (2021): Optimizing the wheat seeding rate for wide-space sowing to improve yield and water and nitrogen utilization. *International Journal of Plant Production*, Volume 15 (4).
- WENSHUN, J., WANG, K., WU, Q., DONG, S., LIU, P., ZHANG, J. (2013): Effects of narrow plant spacing on root distribution and physiological nitrogen use efficiency in summer maize. *The Crop Journal*, Volume 1 (1), S. 77-83.
- WETTERLIND, J., STENBERG, B., ROSSEL, R.A.V. (2013): Soil analysis using visible and near infrared spectroscopy. In: Maathuis, F. (eds) *Plant mineral nutrients. Methods in molecular biology*, Volume 953. Humana Press, Totowa, NJ. S. 95-107.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-62703-152-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-62703-152-3_6)
- WHETTON, R., ZHAO, Y.; MOUAZEN, A.M. (2017 A): Quantifying individual and collective influences of soil properties on crop yield. *Soil Research*, Volume 56, S. 19-27.
- WHETTON, R., ZHAO, Y., SHADDAD, S.M., MOUAZE, A.M. (2017 B): Nonlinear parametric modelling to study how soil properties affect crop yields and NDVI. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 138, S. 127-136. DOI:10.1016/j.compag.2017.04.016

- WIERSMA, J.J. (2002): Bestimmung einer optimalen Aussaatmenge für Sommerweizen im Nordwesten von Minnesota. *Anbau* 18, S. 1-7.
- WILHELM, W.W., RUWE, K., SCHLEMMER, M.R. (2000): Comparisons of three leaf area index meters in a corn canopy. *Crop Science Research*, Volume 40, S. 1179-1183.
- WILSON, J.P., GALLANT, J.C. (2000): *Terrain Analysis: Principles and Applications*; Wilson, J.P., Gallant, J.C., Eds.; John Wiley & Sons, Inc.: New York, NY, USA.
- WOLI, K.P., BURRAS, C.L., ABENDROTH, L.J., ELMORE, R.W. (2014). Optimizing corn seeding rates using a field's corn suitability rating. *Agronomy Journal*, Volume 106 (4), S. 1523-1532.
- WULFES, R., THODE, R., OTT, H. (2001): Einfluss von Reihenabstand, Sortentyp und Bestandesdichte auf Leistungsmerkmale des Silomaises. *Mitteilung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 13, S. 194-195.
- XU, J.M., GAO, H.Q., MAO, S.G., WANG, X., LI, C.S., JI, J.Q., LU, W.P. (2008): Effects of wide row space double plant cultivation on the characteristic of photosynthesis at later growth stage in maize (*Zea mays* L.). *Yangzhou University Journal*, Volume 1, S. 66-70.
- XU, X., LUO, Y., ZHOU, J. (2012): Carbon quality and the temperature sensitivity of soil organic carbon decomposition in a tallgrass prairie. *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 50, S. 142-148, <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.03.007>.
- XU, D.Y., M.A., W.Z., CHEN, S.C., JIANG, Q.S., HE, K., SHI, Z. (2018): Assessment of important soil properties related to Chinese Soil Taxonomy based on vis-NIR reflectance spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 144, S. 1-8.
- XU, H., XU, D., CHEN, S., MA, W., SHI, Z., (2020): Rapid determination of soil classes based in visible-near infrared, mid-infrared spectroscopy and data fusion. *Remote Sensing*, Volume 12, 1512.
- YANG, D., CAI, T., LUO, Y., WANG, Z. (2019): Optimizing plant density and nitrogen application to manipulate tiller growth and increase grain yield and nitrogen-use efficiency in winter wheat. *PeerJ* 7:e6484 <https://doi.org/10.7717/peerj.6484>
- YANG, M.H., ABDUL, M., ZHAO, X.M., GUO, X. (2020): Assessment of a soil fertility index using visible and near-infrared spectroscopy in the rice paddy region of southern china. *European Journal of Soil Science*. Volume 71, S. 615-626.
- ZARCO-TEJADA, P.J., MILLER, J.R., MORALES, A., BERJÓN, A., AGÜERA, J. (2004): Hyperspectral indices and model simulation for chlorophyll estimation in open-canopy tree crops. *Remote Sensing of Environment*, Volume 90 (4), S. 463-476.
- ZECEVIC, V., BOSKOVIC, J., KNEZEVIC, D., MICANOVIC, D. (2014): Einfluss der Aussaatmenge auf die Getreidequalität von Winterweizen. *Chilenisch Journal of Agricultural Research*, Band 74 (1). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392014000100004>

- ZHAO, J., REN, T., ZHANG, Q., DU, Z., WANG, Y. (2016): Effects of biochar amendment on soil thermal properties in the North China plain. *Soil Science Society of America Journal*, Volume 80 (5), S. 1157-1166.
- ZHAO, Y., SIA, B. (2019): Thermal properties of sandy and peat soils under unfrozen and frozen conditions. *Soil Tillage Research*, Volume 89, S. 64-72,  
<https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.026>.

## A 1 Anhang

Tabelle A 1: Zuordnung der Anbieter zum Klassifikationsschema.

Anbieter	Anbieter erstellt Klassifikations- und Applikationskarte		Anbieter erstellt nur Klassifikationskarte		Anwender erstellt Klassifikations- und Applikationskarte		
	Datenquelle		Datenquelle		Datenquelle		
	intern	intern und extern	intern	intern und extern	intern	extern	intern und extern
Nextfarming	✓	⊘	✓	⊘	⊘	⊘	⊘
KWS	✓	⊘	⊘	⊘	⊘	⊘	⊘
Helm AG	⊘	⊘	⊘	⊘	✓	⊘	✓
Agravis	✓	✓	✓	✓	⊘	⊘	⊘
BayWa	✓	⊘	✓	⊘	⊘	⊘	⊘
Dehner	⊘	⊘	⊘	⊘	✓	⊘	✓
EXAgT	✓	✓	⊘	⊘	⊘	⊘	⊘
geo-konzept	✓	⊘	✓	⊘	⊘	⊘	⊘
Plantivo	✓	⊘	⊘	⊘	✓	⊘	✓
xFarm	⊘	⊘	⊘	⊘	✓	⊘	✓
365FarmNet	⊘	⊘	⊘	⊘	✓	✓	⊘
Kleffmann Digital	⊘	⊘	✓	⊘	✓	✓	⊘
Saatbau Linz	✓	⊘	⊘	⊘	⊘	⊘	⊘
Syngenta	✓	✓	⊘	⊘	⊘	⊘	⊘
Limagrain	✓	⊘	⊘	⊘	⊘	⊘	⊘
xarvio	⊘	⊘	✓	✓	⊘	⊘	⊘
Agromais	✓	⊘	⊘	⊘	⊘	⊘	⊘
BAT Agrar	⊘	⊘	⊘	⊘	✓	✓	✓
Greiwing Agrar	✓	⊘	✓	⊘	⊘	⊘	⊘
OneSoil	⊘	⊘	⊘	⊘	✓	⊘	✓
Farmblick	⊘	⊘	✓	✓	⊘	⊘	⊘
Bayer	✓	⊘	✓	⊘	✓	⊘	⊘
Greenspin	⊘	⊘	✓	✓	⊘	⊘	⊘
Solorrow	✓	⊘	✓	⊘	⊘	⊘	⊘

✓ - trifft zu, ⊘ - trifft nicht zu

**Tabelle A 2: Parameter der Standorte und der Agronomie.**

Parameter	Standort		
	Crostwitz	Kunzwerda	Memmendorf
Bodenart	anlehmiger Sand	anlehmiger Sand	sandiger Lehm
Bodenwertzahl	35	23	40
geogr. Höhe (NN)	200 m	90 m	400 m
Niederschlag (Jahr)	590 mm	541 mm	807 mm
Sorte	Benedictio	Benedictio	Benedictio
Reifegruppe	mittelfrüh	mittelfrüh	mittelfrüh
Körnerreifezahl	230	230	230
Saatstärke	8-9 Körner/m <sup>2</sup> <sup>1</sup>	8-9 Körner/m <sup>2</sup> <sup>1</sup>	9-10 Körner/m <sup>2</sup> <sup>1</sup>
Nutzungsart	Körnermais	Körnermais	Körnermais
Saattermin	01.05.2024	01.05.2024	01.05.2024
Bewässerung	nein	nein	nein

<sup>1</sup> - Empfehlung vom Saatzüchter

**Herausgeber**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden

Telefon: +49 351 2612-0; Telefax: +49 351 2612-1099

E-Mail: Poststelle@lfulg.sachsen.de

www.lfulg.sachsen.de

**Autor**

Dr. Arndt Kunick

IAK Agrar Consulting GmbH

Bornaer Straße 16

Telefon: +49 34297 714-0

E-Mail: info@iakleipzig.de

**Redaktion**

Michael Schurig

Abteilung 7/ Referat 72

Waldheimer Straße 219,

Telefon: +49 35242 631-7223; Telefax: +49 35242 631-7299

E-Mail: Michael.Schurig@lfulg.sachsen.de

**Bildnachweis**

IAK Agra Consulting GmbH

**Redaktionsschluss**

28.02.2025

**Bestellservice**

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei heruntergeladen werden aus der Publikationsdatenbank des Freistaates Sachsen (<https://publikationen.sachsen.de>).

**Hinweis**

Diese Publikation wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom LfULG (Geschäftsbereich des SMUL) kostenlos herausgegeben. Sie ist nicht zum Verkauf bestimmt und darf nicht zur Wahlwerbung politischer Parteien oder Gruppen eingesetzt werden.

Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

*Täglich für ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de