

# Bedarfsgerecht applizieren

Die **teilflächenspezifische Düngung** bietet ein großes Potenzial für eine nachhaltigere und effizientere Landwirtschaft. Beide Verfahren, offline und online, haben ihre Vor- und Nachteile.



**Das Isaria-System** von Fritzsche im Einsatz zur Applikation von Mineraldünger im Raps. Die Pflanzensensoren werden mittels eines am Fronthubwerk des Traktors befestigten Gestänges senkrecht zum Bestand geführt.

FOTOS: MATTHIAS EICHESEDER

Eine erfolgreiche Düngungsstrategie ist für die Ertrags- und Qualitätsbildung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen von entscheidender Bedeutung. Auf heterogenen Schlägen besteht ein teilflächenspezifischer, unterschiedlicher Bedarf an Nährstoffen. Eine gleichmäßige Düngung kann dazu führen, dass Teilflächen mit Stickstoff unter- und andere Teilflächen überversorgt werden. Die Folge ist eine ineffizientere Nutzung der vorhandenen Ressourcen.

Vor allem auf roten Flächen kann dies zu Ertrags- und Quali-

tätseinbußen führen, kurz: Es kostet den Landwirt Geld. Landtechnikhersteller und Start-ups arbeiten daher an verschiedenen Strategien, um Mineraldünger in Form einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung besser verteilen zu können. Dabei stellen sich die berechtigten Fragen, ob sich der Einsatz einer solchen Technik lohnt und welche dieser Techniken für den eigenen Betrieb geeignet sind.

Die teilflächenspezifische Mineraldüngung orientiert sich an den durch die Heterogenität bedingten unterschiedlichen Nährstoff-

bedürfnissen der Pflanzen in den verschiedenen Ertragszonen. Die Heterogenität auf den Feldern hat verschiedene Ursachen. In den letzten Jahren war in vielen Regionen die nutzbare Feldkapazität des Bodens aufgrund fehlender Niederschläge in der Hauptvegetationsperiode ein entscheidender Faktor für die Ertragsbildung der Kulturpflanzen.

## Heterogenität von Jahr zu Jahr unterschiedlich

Die nutzbare Feldkapazität (nFk) beschreibt den Anteil an pflanzenverfügbarem Wasser, den ein Boden maximal speichern kann, und wird maßgeblich von der Bodenart beeinflusst. Tonreiche Böden speichern mehr Wasser als sandige Böden und können daher die Pflanzen in Trockenperioden länger versorgen. Die höchsten nFk weisen Schluffböden auf. Aber nicht nur die Wasserversorgung und der Bodentyp (Bodenart, wenn das Korngrößenspektrum gemeint ist) spielen eine Rolle, auch der Nährstoffgehalt und das -nachlieferungspotenzial sowie mögliche Schadverdichtungen können teilflächenspezifische Unterschiede verursachen. Auch kleine Schläge können eine große Heterogenität aufweisen.

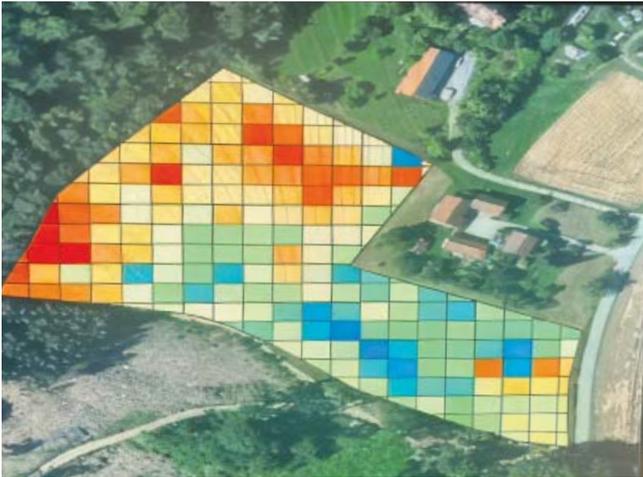
Eine Herausforderung der Heterogenität besteht darin, dass sie sich nicht in allen Anbaujahren und Kulturen in gleicher Weise zeigt. Unterschiedliche Witterungsbedingungen können in zwei aufeinanderfolgenden Anbaujahren zu völlig gegensätzlichen Ertragskarten führen. Außerdem kann es zu einer natürlichen Verschiebung der Ertragszonen kommen. Daher



**Das Online-Verfahren** eignet sich gut für eine N-Gabe zum Schossen und eine weitere Qualitätsdüngung im Getreide.



**Das Terminal des Traktors** visualisiert eine Applikationskarte, die auf Basis einer Sensor-Herbstmessung im Raps erstellt wurde.



Ertragskarte eines Schlages, erzeugt beim Dreschen.

ist es wichtig, die verschiedenen Faktoren und Kombinationseffekte zu kennen, die die Heterogenität innerhalb eines Schlages verursachen, um aussagekräftige Schlussfolgerungen ziehen zu können. Dies ist insbesondere die Grundlage für das Offline-Verfahren der teilflächenspezifischen Düngung, da hier ausschließlich mit in der Vergangenheit erhobenen Daten gearbeitet wird.

### Offline-Verfahren mit historischen Daten

Im sogenannten Offline-Verfahren wird eine Applikationskarte auf Basis historischer Daten generiert. Für die Erstellung bieten verschiedene Anbieter Internetportale und Apps an, die sich in ihrem Funktionsumfang und ihrer Komplexität zum Teil stark voneinander unterscheiden. Für den Einstieg sollte eine möglichst kompakte Anwendung genutzt werden, die bereits einige gesammelte Basisinformationen zur Verfügung stellt und über ein Funktionsmenü die Erstellung von Applikationskarten erleichtert. Bei der Auswahl des Portals sollte auch die Kompatibilität zur Einspeisung bereits erhobener Daten und mit später eingesetzten Maschinen berücksichtigt werden.

Für die Erstellung von Applikationskarten können verschiedene Informationen verwendet werden. Die einfachste Form ist die datenbasierte Generierung von Biomassekarten. Die Basisinformation hierfür liefern in der Regel Aufnahmen des Vegetationsindex (NDVI-Index) durch einen der beiden Sentinel-2-Satelliten. Die Sentinel-2-Satelliten sind Teil des Copernicus-Programms der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) und nehmen auf ihrer Umlaufbahn um die Erde Bilder in einem Raster von 10 x 10 m auf. Es ist zu beachten, dass Portale, die ein kleineres Raster anbieten, mit

einer Interpolation der Aufnahmen der Sentinel-2-Satelliten oder anderer Aufnahmen arbeiten. Alternativ kann der Vegetationsindex über Drohnenaufnahmen mit einer Multispektralkamera ermittelt werden, oder es können direkt langjährige Biomassekarten des Portalbetreibers verwendet werden. In einigen Portalen ist es auch möglich, mehrere Biomassekarten automatisch zu einer Applikationskarte zu verschneiden.

Eine weitere Datenquelle können Ertragskarten sein. Diese werden während der Ernte mit dem Mähdrescher oder Feldhäcksler erstellt. Die Ertragskarten verschiedener Anbaujahre und Kulturen können mit unterschiedlicher Gewichtung miteinander verschneiden werden. Für eine hohe Aussagekraft sollten jedoch die Ertragskarten von mindestens drei Anbaujahren der gleichen Kulturart verwendet werden, da die Vergleichbarkeit verschiedener Kulturen aufgrund von Witterungseinflüssen nicht immer gegeben ist. Beispielsweise ist es nicht sinnvoll, die Ertragskarte von Mais aus einem feuchten Anbaujahr mit der Ertragskarte von Weizen aus einem trockenen Anbaujahr zu kombinieren.

Neben dem NDVI-Index und den Ertragskarten gibt es zahlreiche weitere Daten, die sich für die

Erstellung einer Applikationskarte eignen. Dazu gehören Bodenkarten mit Informationen über die Wasser- und Nährstoffversorgung, Bodenarten oder die Messung der Bodenleitfähigkeit, die mit der Bodenbeschaffenheit korreliert. Die Nährstoffversorgung des Schlages kann durch eine systematische Bodenbeprobung ermittelt werden. Grundsätzlich ist es für die Genauigkeit der Applikationskarten ratsam, mehr als eine Datenquelle bei der Generierung zu berücksichtigen.

Parallel zur Eingabe der Daten muss die Düngermenge für die verschiedenen Zonen der Applikationskarte festgelegt werden. Für Einsteiger ist es hilfreich, die angestrebte Düngermenge nicht zu kleinfächig zu verteilen, sondern den Schlag in bis zu fünf verschiedene Zonen einzuteilen. Für jede Zone kann dann die Düngermenge festgelegt werden. Dazu gibt es zwei Strategien. Die einfache Variante ist, eine festgelegte Durchschnittsmenge bedarfsgerecht auf die Zonen zu verteilen. Alternativ können für die Zonen individuelle Düngeneiveaus festgelegt werden, wobei jedoch der in der Düngelbedarfsmittlung ermittelte Grenzbedarf zu berücksichtigen ist. Die fertige Applikationskarte wird anschließend in ein geeignetes Datenformat konvertiert und auf das Bedienterminal des Traktors übertragen.

### Online-Verfahren direkt im Bestand

Beim Online-Verfahren wird die Düngermenge direkt an den aktuellen Nährstoffbedarf des Bestandes angepasst. Mit einem aktiven oder passiven Pflanzensensor wird die Lichtreflektion des Pflanzenbestandes erfasst. Bei der Messung mit dem aktiven Pflanzensensor wird der Sensorkopf in einem bestimmten Abstand senkrecht zum Bestand geführt. Eine im Sensorkopf integrierte Lichtquelle bestrahlt den Pflanzenbestand mit Lichtwellen vom nahinfraroten bis zum infraroten Bereich. Durch die integrierte Lichtquelle kann der aktive Sensor



FOTOS: MATTHIAS EICHELSIEDER

Die As-applied-Karte der Düngung wird beim Online-Verfahren automatisch aus den Ergebnissen der Messung mit den Pflanzensensoren und dem eingespeisten Datenmaterial dokumentiert.

auch bei Dunkelheit eingesetzt werden und unterscheidet sich damit vom passiven Pflanzensensor, der nur für den Einsatz bei Tageslicht geeignet ist. Beim passiven Pflanzensensor sind die Sensoren zur Messung der Lichtreflektion des Pflanzenbestandes an den Rückspiegeln angebracht. Zusätzlich benötigt das System einen Lichtsensor auf dem Dach des Traktors, um die Intensität der Sonneneinstrahlung zu erfassen.

### Lineare Verteilung in roten Gebieten

Mit beiden Systemen können zwei verschiedene Vegetationsindizes bestimmt werden. Zum einen wird die vorhandene Biomasse ähnlich dem NDVI-Index bestimmt. Der zweite Index ist der sogenannte Stickstoffversorgungsindex. Dieser erlaubt einen direkten Rückschluss auf das Chlorophyll im Pflanzenbestand. Je nach aktuellem Wachstumsstadium wird mit dem Biomasse- oder dem Stickstoffversorgungsindex gearbeitet. Mit dem N-Versorgungsindex kann der aktuelle Stickstoffbedarf der Pflanzen für den Schlag anhand einer Regelkurve ermittelt werden. Die Düngung erfolgt nach der linearen Verteilung einer vorgegebenen Durchschnittsmenge oder nach dem direkt ermittelten Stickstoffbedarf. Die Strategie der linearen Verteilung einer vorgegebenen Durchschnittsmenge ist in roten Gebieten besser geeignet als die Düngung nach dem N-Bedarf der Pflanzen, da der berechnete tatsächliche N-Bedarf der Pflanzen in der Regel höher ist als die um 20 % reduzierte ermittelte Düngermenge.

Einige Hersteller von Online-Verfahren bieten auch Systeme an, die mit Kartenmaterial kombi- ▶

### Methoden der teilflächenspezifischen Düngung

#### Offline-Verfahren:

- basiert auf historischen Daten (Ertragskarten, Satellitenbilder, Bodenproben)
- erstellt Applikationskarten, die die Düngermenge für verschiedene Zonen des Feldes festlegen
- kostengünstiger, aber weniger flexibel

#### Online-Verfahren:

- misst den aktuellen Nährstoffbedarf der Pflanzen direkt im Feld
- passt die Düngermenge in Echtzeit an
- höhere Investitionskosten, aber flexibler und genauer

► niert werden können. Die Karte kann Informationen über die Bodenart und das Ertragspotenzial enthalten. Das System berechnet dann den N-Bedarf der Pflanzen mit unterschiedlichen Regelkurven für die verschiedenen Ertrags- oder Bodenzonen des Schlags.

## Weiteren Einsatzgebiete des Online-Verfahrens

Die Technik des Online-Verfahrens kann neben der Düngung auch für andere Anwendungsgebiete eingesetzt werden. Eine Anwendungsmöglichkeit ist die Kombination mit dem Einsatz von Wachstumsreglern. Mithilfe von Sensoren wird die unterschiedliche Entwicklung der Pflanzen erfasst und die Menge der eingesetzten Wachstumsregler entsprechend angepasst. So konnten in einem von Matthias Eichelseder begleiteten Versuch durch den Einsatz des Online-Verfahrens nicht nur die Wachstumsregler besser verteilt, sondern auch Applikationsmittel eingespart werden. Durch die gleichmäßigere Bestandsentwicklung konnten zudem in den beiden Versuchskulturen Weizen und Kartoffeln leicht höhere Erträge erzielt werden.

## Erfahrungen aus der Praxis

Tobias Füge hat direkte Erfahrungen mit der teilflächenspezifischen Mineraldüngung auf seinem landwirtschaftlichen Betrieb. In einer Betriebsgemeinschaft mit eigener Biogasanlage ist er an der Bewirtschaftung von insgesamt 600 ha beteiligt, wobei etwa 80 % der Flächen zu den roten Gebieten gehören. Die Jahresniederschläge liegen am Betriebsstandort im Donnersbergkreis an der Grenze von 550 mm.

Seit 2012 setzt der Betrieb teilflächenspezifische Düngetechnik ein. Zunächst nutzte der Betrieb eine frühere Version der Düngetechnik des Online-Verfahrens, jedoch konnte der damalige Stand der Technik nicht überzeugen, da die Systeme häufig zu einer Überschreitung der Grenzwerte der Bedarfsermittlung und nicht zu einer Einsparung von Düngemitteln führten. Zudem spiegelte sich der Mehraufwand nicht im monetären Ergebnis in Form von Erträgen und Inhaltsstoffen wider. Außerdem bemängelte Füge die damals noch sehr zeitaufwändige Inbetriebnahme vor den Einsätzen. Aus diesem Grund ist die Betriebsgemeinschaft auf das Offline-Verfahren mittels Applikationskarten aus Satellitendaten umgestiegen. Für die Erstellung der Applikationskarten nutzt Tobias Füge zwei Ansätze. Für die zeitsparende Generierung setzt er auf ein Portal,



FOTOS: MATTHIAS EICHELSEDER

mit dessen Hilfe er verschiedene Biomassekarten automatisch zu einer mehrzonigen Applikationskarte verschneiden kann.

Für die Erstellung eigener Karten arbeitet Tobias Füge mit dem System Q-GIS. Um zusätzliche Daten zu generieren, hat er unter anderem bereits Messungen der elektrischen Leitfähigkeit durchgeführt und die verschiedenen Bodenarten sowie die Wasserhaltefähigkeit auf seinen Schlägen ermittelt. Diese Daten führt er dann manuell zu einer eigenen Applikationskarte zusammen. Im Gegensatz zum Einsatz von Portalen ist diese Vorgehensweise jedoch wesentlich komplizierter und erfordert neben dem Fachwissen auch einen höheren Zeitaufwand. Für die Flächen in den roten Gebieten nutzt Füge die Applikationskarten, um durch die Einteilung in verschiedene Bedarfszonen die durchschnittliche Aufwandmenge um 20 % zu reduzieren.

## Potenziale und Limitationen

Sowohl das Online- als auch das Offline-Verfahren haben ihre Vorteile, aber auch ihre Grenzen. Beide Maßnahmen sind in ihrem Erfolg stark von der Witterung abhängig und zeigen insbesondere erst ab Schlaggrößen von einem Hektar Wirkung. Bei ausbleibenden Niederschlägen nimmt die Effizienz des gedüngten Stickstoffs ab.

In der Anschaffung ist das Offline-Verfahren mit einem Portalabonnement wesentlich kostengünstiger als die Technik des Online-Verfahrens. Zudem sind Applikationskarten aus Biomassekarten schnell erstellt. Die Verwendung des NDVI-Index aus Satellitenaufnahmen hat jedoch Schwächen. Zum einen kann die Genauigkeit bei kleinen Schlägen

durch Randeinflüsse drastisch reduziert werden. Ein weiteres Problem ist die fortschreitende Vegetation. Ab dem Schossen bedeckt die Kulturpflanze den Boden oft fast vollständig, und der NDVI-Index zeigt für den Schlag keine Vegetationsunterschiede mehr an.

Für die Verwendung von Satellitenbildern sind insbesondere für die Hauptvegetation sehr aktuelle Aufnahmen erforderlich. Diese sind aufgrund ungünstiger Witterungsbedingungen und der Zeitabstände der Satellitenüberflüge nicht immer verfügbar. Die Verwendung älterer Satellitenbilder verschlechtert die Aussagekraft des Biomasseindex. Drohnenaufnahmen können hier Abhilfe schaffen. Die Verwendung von Applikationskarten auf Basis des NDVI-Indexes ist jedoch eine gute Grundlage für die Startdüngung zu Vegetationsbeginn im Frühjahr. Die Erstellung komplexerer Applikationskarten unter Berücksichtigung mehrerer Daten für eine höhere Erfolgswahrscheinlichkeit ist jedoch wesentlich zeitaufwändiger und erfordert einige Erfahrung.

## Tatsächlichen Nährstoffbedarf erfassen

Die Online-Technik hat gegenüber der Offline-Methode den Vorteil, dass durch direkte Messungen im Bestand der tatsächliche Nährstoffbedarf der Pflanzen erfasst werden kann. Im Gegensatz dazu arbeiten Applikationskarten ausschließlich mit historischen Daten. Zudem ist der Online-Ansatz deutlich weniger zeitaufwändig. Durch die Messung der Lichtreflektion im nahinfraroten bis infraroten Bereich kann zudem der unterschiedliche Nährstoffbedarf der Pflanzen auch bei fortgeschrittener Vegetation erfasst werden. Damit eignet sich die Online-Methode auch für die Schossdü-

**Die Sensormessung (l.)** von einer dritten Gabe (11. Mai) im Winterweizen zeigt die Verteilung des N-Versorgungsindex.

**Sensorscan (r.)** zum Sechs- bis Achtblattstadium (11. Oktober) von Winterweizen. Dargestellt ist auch der N-Versorgungsindex. Im Vergleich zur Sensormessung im Mai zeigen sich ähnliche Tendenzen, aber auch deutliche Unterschiede. Insbesondere bei Kulturführungsmaßnahmen wie Pflanzenschutz und Düngung sollte der Pflanzenbestand daher aktuell beurteilt werden.

gung und eine spätere Qualitätsdüngung.

Dennoch ist zu beachten: Unabhängig davon, ob man sich bei der Düngung auf Applikationskarten oder Echtzeitmessungen im Bestand stützt, dienen beide Verfahren lediglich der Optimierung der Bestandesführung. Dies äußert sich in einem homogeneren Bestand oder einer besseren Nährstoffausnutzung, was im Idealfall zu einer Ertrags- und Qualitätssteigerung führt. Signifikante Ertragssteigerungen im Tonnenbereich sind jedoch nicht zu erwarten, da der Ertrag meist durch andere Faktoren, z. B. die Wasserverfügbarkeit, limitiert wird.

## FAZIT:

Landwirtschaftliche Flächen können durch schlagspezifische Bodenunterschiede eine große Heterogenität aufweisen. Daraus resultiert ein unterschiedlicher Nährstoffbedarf der Pflanzen. Abhilfe kann eine teilflächenspezifische Düngung schaffen. Diese kann sowohl im Offline- als auch im Online-Verfahren durchgeführt werden.

Das Offline-Verfahren ist deutlich kostengünstiger und die Verwendung des Biomasseindex eignet sich besonders für die Startdüngung im Frühjahr. Das Online-Verfahren hat zwar höhere Investitionskosten, spart aber Zeit gegenüber aufwändigen Applikationskarten. Zudem wird nach dem tatsächlichen Pflanzenbedarf gedüngt, und Bestandesunterschiede können auch in späteren Entwicklungsstadien genau erfasst werden.

Dennoch dienen beide Verfahren nur der Optimierung der Bestandesführung, wodurch Ertrags- und Qualitätssteigerungen von 2-10 % möglich sind. Größere Vorteile sind im Einzelfall möglich, aber selten.

SVEN POTHS, TH Bingen

---

# LANDTECHNIK

---