

Schätzung von Applikationsmengen aus georeferenzierten Daten unter Berücksichtigung von Arbeitsbreite und Bearbeitungspfad

- Grundlagen für die Bestimmung der Wirtschaftlichkeit des Precision Farming -

KLAUS HANK, WEIHENSTEPHAN

Abstract

This paper presents a method to estimate the amount of fertiliser spread on any point of a field. The calculation is based on discrete records containing measured quantity of fertiliser and associated GPS position. Additionally working width and working path are taken into account.

1 Einführung

Im praktischen Einsatz von Precision-Farming-Technologien können georeferenzierte Applikations- und Ertragsdaten gewonnen werden. Es stellt sich jedoch die Frage, ob diese zur Ableitung von Wirtschaftlichkeitsaussagen herangezogen werden können bzw. wie diese Daten zu interpretieren sind. Einfache Interpolationsverfahren berücksichtigen Orte und Eigenschaften an diesen Orten und damit nur einen Teil der zur Verfügung stehenden Information. Zusätzlich ist die Arbeitsbreite bekannt und es kann, bei chronologischer Anordnung der Datensätze, der Bearbeitungspfad nachvollzogen werden. Im Folgenden wird am Beispiel der Düngerapplikation ein Verfahren vorgestellt, das diese zusätzliche Information bei der Ableitung von Wirtschaftlichkeitsaussagen berücksichtigt.

2 Überlegungen

In Zusammenarbeit mit einem Anwender entsprechender Precision-Farming-Technologie wurden auf einer Reihe von Weizenschlägen die im praktischen Einsatz anfallenden Daten bei Stickstoffdüngung und Ernte protokolliert. Damit bietet sich an, als Parameter der Wirtschaftlichkeit das Input-Output-Verhältnis, also die je Einheit Ertrag eingesetzte Menge an Stickstoff zu ermitteln. Da dieses Verhältnis nicht auf dem ganzen Schlag konstant ist, wurde eine Zufallsstichprobe von 1.000 Punkten aus der Grundgesamtheit sämtlicher Punkte in einem Betrachtungsbereich gezogen und wurden diese Punkte analysiert.

Jeder Düngermessdatensatz umfasst eine chronologisch laufende Nummer, eine Position (Ortsvektor) sowie als Zustandsgröße die Menge an Stickstoff in Kilogramm pro Hektar. Hinsichtlich der Zuweisung von Applikationsmengen an Stickstoff zu den einzelnen Punkten gilt es zunächst zu klären, ob ein beobachteter Zustand überhaupt für den angegebenen Ort gilt und falls ja, für welchen Bereich um diesen Ort er gilt. Zur Frage des Versatzes zwischen gemessenem Ort und Applikationsbereich liegen bereits Untersuchungen vor (z.B. GRIEPENTROG und PERSSON, 2001) und diesem Problem wird bei der Datenerfassung durch Anwendung eines Verzögerungsfaktors Rechnung getragen, der den Messort zumindest in enge räumliche Nähe des Applikationsbereiches bringen soll. Im weiteren wird davon ausgegangen, der gemessene Wert träfe tatsächlich für den angegebenen Ort zu. Beim zugehörigen Applikationsbereich handelt es sich, da die Messung ja eine Zeitpunktmessung ist, um einen marginal breiten "Streifen", dessen Form von der eingesetzten Technik abhängig ist.

Zwei aufeinander folgende Messpunkte befinden sich in einer gewissen räumlichen Entfernung. Über den Bereich dazwischen liegen keinerlei gemessene Zustandswerte vor. Hier muss interpoliert werden. Dabei bieten sich unterschiedliche Verfahren an. Die einfachste besteht darin, einen gemessenen Wert beizubehalten bis ein neuer Messwert vorliegt und damit von einem treppenförmigen Verlauf auszugehen. Dies ist gerechtfertigt, so lange die Unterschiede zwischen auf einander folgende Zustandswerte nicht zu hoch sind.

2.1 Konstruktion des Pfades

Wird davon ausgegangen, der Gültigkeitsbereich jedes Messpunktes sei eine Linie deren Länge der Arbeitsbreite entspricht und deren Mittelpunkt der Messpunkt sei, dann kann jedem Messpunkt ein Bearbeitungsbereich zugeordnet werden, der die Fläche zwischen den Gültigkeitsbereichen zweier auf einander folgender Messpunkte umfasst. Um einen Gültigkeitsbereich festzulegen, genügt jedoch der Ortsvektor des zugehörigen Messwertes nicht. Vielmehr wird ein zweiter Punkt auf dem Gültigkeitsbereich oder die Richtung des linearen Gültigkeitsbereichs benötigt. Hierzu ist es erforderlich die Richtung, in die sich das Gerät im Moment der Messung bewegt, zu ermitteln. Werden Knickbewegungen innerhalb des Geräts vernachlässigt, dann kann davon ausgegangen werden, dass der Gültigkeitsbereich exakt lotrecht zur Vorfahrtrichtung liegt.

Aus den Ortsvektoren der Datensätze geht hervor, an welchen Stellen Messungen vorgenommen wurden. Aus der Betrachtung mehrerer chronologisch auf einander folgender Messpunkte lassen sich Aussagen über die Richtung und damit unmittelbar verbunden, über die bearbeitete Fläche, gewinnen. Im einfachsten Fall können jeweils zwei Messwerte durch eine Linie miteinander verbunden werden und der Gültigkeitsbereich lotrecht zu dieser Verbindungslinie in einem der beiden Messpunkte gelegt werden. Nachteil dieser Vorgehensweise ist, dass sich Richtungsänderungen überwiegend auf einen Bereich auswirken. Eine Verteilung auf die beiden angrenzenden Bearbeitungsbereiche wird erreicht, wenn die Gültigkeitsbereiche nicht lotrecht zu den Verbindungslinien, sondern lotrecht zur Winkelhalbierenden der Verbindungslinien zwischen einem Messpunkt und seinem Vorgänger sowie Nachfolger gelegt werden. Für dieses Verfahren werden somit drei auf einander folgende Punkte zur Festlegung des Gültigkeitsbereichs benötigt.

Eine möglichst korrekte Abbildung von Kurvenfahrten ist wichtig, weil kurvenaußenseitig in der gleichen Zeit mehr Fläche überstrichen wird als kurveninnenseitig. Beim Ausbringen von Düngemitteln bedeutet dies, dass bei Gleichverteilung der Ausbringmenge über die Arbeitsbreite die Streudichte kurvenaußenseitig niedriger ist als kurveninnenseitig.

2.2 Ableitung von Bearbeitungsbereichen

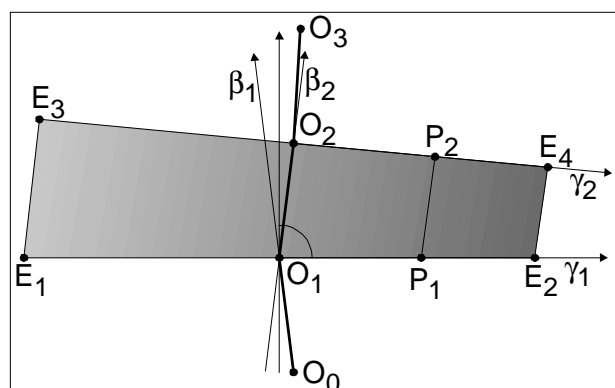
Zur Generierung eines viereckigen Bearbeitungsbereiches sind vier auf einander folgende Messpunkte erforderlich. Dabei werden von dreien lediglich die Ortsvektoren, vom vierten zusätzlich der Zustandswert, hier $kg\ N/ha$, benötigt. Auch muss die Arbeitsbreite des verwendeten Geräts bekannt sein. Werden die Ortsvektoren der vier Punkte mit O_i bezeichnet, so könnte sich der in der Abbildung dargestellte Pfad ergeben.

Zur Darstellung von Richtungen und damit auch Richtungsänderungen wird ein Bezugssystem benötigt. Dieses kann willkürlich festgelegt werden. Es bietet sich an, "aufwärts" als Nullrichtung zu wählen und die Richtung als Strecke auf einem Einheitskreis (Bogenmaß) im Uhrzeigersinn zu verwenden.

Die Grundlinie des gesuchten Vierecks ist das Lot zur Winkelhalbierenden zwischen den Richtungen Ξ_1 und Ξ_2 durch den Punkt O_1 . Die Winkelhalbierende ergibt sich einfach als

Mittelwert der beiden Richtungen. Die gesuchte Richtung der Grundlinie steht senkrecht zur Winkelhalbierenden, was durch Addition von $B/2$ erreicht wird.

Aus diesen Angaben lassen sich nun die zwei Eckpunkte E_1 und E_2 des gesuchten Bearbeitungsvierecks ermitteln. Bei einer Arbeitsbreite von 18 m ist der eine 9 m und der andere -9 m in Richtung der Grundlinie vom Messpunkt entfernt. Die kartesischen Koordinaten dieser Punkte können einfach durch Anwendung der Sinus- sowie Cosinusfunktion auf die



Richtungswerte gewonnen werden. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die angegebenen Richtungen hier relativ zur Nullrichtung und rechtsdrehend sind. Deshalb gibt der Cosinus die relative Bewegung in Y-Richtung und der Sinus die relative Bewegung in X-Richtung wider. Es gilt $x = x_i + d \cong \sin(\alpha_i)$ und $y = y_i + d \cong \cos(\alpha_i)$, wobei x_i und y_i die Koordinaten des zugehörigen Messpunkte, α_i die Richtung der Grundlinie und d die Entfernung vom Messpunkt darstellen. Das gleiche Vorgehen wird nun für den Punkt O_2 wiederholt und liefert die anderen beiden Eckpunkte E_3 und E_4 . Diese beiden Eckpunkte sind gleichzeitig die ersten Eckpunkte des folgenden Bearbeitungsbereiches.

2.3 Anpassung von Zustandsgrößen

Da von einem linearen Gültigkeitsbereich der Messwerte ausgegangen wird, dessen Breite der Arbeitsbreite entspricht und dessen Länge marginal ist, wird das Bearbeitungsviereck auf den beiden Seiten, die die Messpunkte beinhalten durch Geraden begrenzt. Dies gilt für die übrigen beiden Begrenzungslinien jedoch in aller Regel nicht. Diese sind vielmehr gekrümmt und die Entfernungen zwischen korrespondierenden Punkten auf den beiden Grundlinien unterschiedlich.

Die angegebene Zustandsgröße bezieht sich auf die Vorfahrtstrecke. Wird entlang dieser Bewegungsbahn eine bestimmte Menge ausgebracht, dann bedeutet dies, dass in einer bestimmten Zeit, nämlich der Dauer der Fahrt von O_1 nach O_2 , bei über die Arbeitsbreite gleichverteilter Applikationsmenge, je Breitereinheit die gleiche Menge an Dünger ausgebracht wird. Wird in diesem Zeitintervall eine größere Fläche überstrichen, dann ist die Applikationsmenge je Flächeneinheit geringer und umgekehrt. Für die Zuteilung eines bestimmten Zustandswertes zu einem beliebigen Punkt innerhalb des Bearbeitungsbereiches muss deshalb die im betrachteten Zeitintervall zurückgelegte Strecke, auf der der Punkt liegt, in Relation zur Vorfahrtstrecke abgeschätzt werden. Da es hierbei lediglich um die Relationen, nicht aber um die absoluten Längen der Strecken geht, kann ohne großen Fehler auf die Berücksichtigung der Krümmung verzichtet werden.

Werden zwei Punkte P_1 und P_2 auf den beiden Grundlinien, jeweils im Abstand d von den beiden Messpunkten entfernt betrachtet, dann gilt für diese beiden Punkte: Zustandswert = Messwert $\cong [O_1, O_2] / [P_1, P_2]$, wobei die Terme in eckigen Klammern für den linearen Abstand zweier Punkte stehen. Um dieses Verfahren auf beliebige Punkte anwenden zu können, muss zunächst die Entfernung d eines solchen Punktes vom Pfad ermittelt werden.

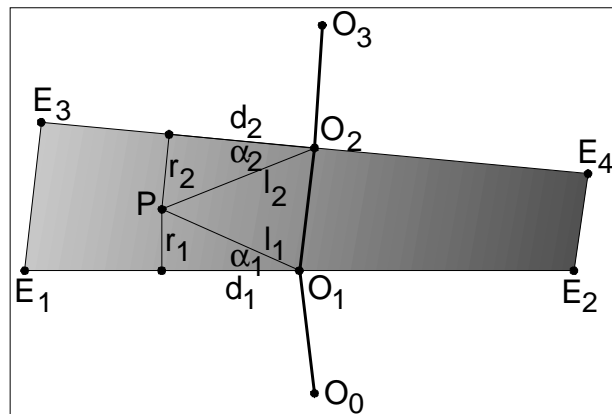
2.4 Entfernungen vom Pfad

Die Orte und Bewegungsrichtungen in den Mess- und Eckpunkten sind bekannt. Diese Punkte und Richtungen sind in der Realität durch Kurven miteinander verbunden, die eine irgendwie geartete Krümmung aufweisen und die Orts- und Richtungsbedingungen jeweils zweier korrespondierender Punkte erfüllen. Die Verbindungskurve zwischen zwei korrespondierenden Punkten auf den beiden Grundlinien müssen durch diese Punkte gehen und ihre Richtung sollte in diesen Schnittpunkten lotrecht zu den Grundlinien sein. Die Behandlung solcher gekrümmter Kurven etwa durch Ellipsen oder andere geometrische Figuren ist sehr aufwändig und überdies zum Teil analytisch nicht lösbar. Damit stellt sich die Frage, ob es erforderlich ist, diese Krümmungen zu berücksichtigen, oder ob eine lineare Betrachtung ohne allzu große Abweichungen möglich ist.

Die kartesischen Koordinaten der Punkte O_1 , O_2 und P werden durch die Georeferenzen bestimmt und sind bekannt. Daraus lassen sich unmittelbar die Polarkoordinaten, also Richtung und Entfernung der Punkte voneinander ableiten. Der Punkt P liegt in einer Entfernung von l_1 vom Messpunkt O_1 und in einer Entfernung l_2 vom Messpunkt O_2 entfernt. Die Differenz zwischen den Richtungen dieser Verbindungen und den Richtungen der Grundlinien ergibt die beiden Winkel \forall_1 und \forall_2 . Mit Hilfe dieser Parameter können anschließend durch Anwendung der Sinus- und Cosinusfunktion die lotrechten Entfernungen

des Punktes P von den beiden Grundlinien (r_1 und r_2) und die Entfernung dieser Lote entlang der Grundlinien von den beiden Messpunkten (d_1 und d_2) ermittelt werden. Die lotrechten Entfernungen r_1 und r_2 weisen für alle Punkte P zwischen den Grundlinien unterschiedliche Vorzeichen auf. Für die Berechnung der Entfernung des Punktes P von der Vorfahrtkurve müssen deshalb die absoluten Beträge herangezogen werden. Damit ergibt sich die Entfernung eines Punktes P von der Fahrtstrecke nach der Beziehung

$$d = \frac{|r_1| \cdot d_2 + |r_2| \cdot d_1}{|r_1| + |r_2|}$$



Ein beliebiger Punkt P liegt dann im betrachteten Bearbeitungsbereich, wenn r_1 und r_2 unterschiedliche Vorzeichen aufweisen und wenn der Abstand d nicht größer als die halbe Arbeitsbreite des Geräts ist. Aus der Länge der Verbindungslinie zwischen den beiden Messpunkten in Relation zur Länge der Verbindungslinie zwischen zwei Punkten auf den beiden Grundlinien im Abstand d von den Messpunkten kann dann nach dem oben dargestellten Verfahren die Applikationsmenge im Punkt P berechnet werden.

3 Ergebnisse

Nach Implementierung und Kalkulation eines Schlages zeigte sich, dass die flächenbezogenen Applikationsmengenabweichungen durch Kurvenfahrten maximal 4,5-5% nach oben und unten betragen. Rund 98 % der Fälle bewegten sich in diesem Bereich. Diese geringen Abweichungen weisen darauf hin, dass die Erfassung der Georeferenzen so exakt ist, dass sie die hier vorgenommene Berechnung der Applikationsmengen rechtfertigen.

Die übrigen 2 % der Werte wiesen deutlich abweichende Applikationsmengen auf. In zwei Fällen wurde der erwartete Wert unterschritten, in den übrigen Fällen überschritten. Die Untersuchung dieser Punkte zeigte, dass sie exakt zwischen zwei Fahrgassen liegen, deren Pfade an diesen Stellen mehr bzw. weniger als die Arbeitsbreite von 18 m von einander entfernt liegen.

Mit dem vorgestellten Verfahren ist es möglich durch die Berücksichtigung der Arbeitsbreite und des Pfades Mehr- bzw. Mindermengen durch Kurvenfahrten, Fehlstellen und Überlappungen aufzuspüren. Damit kann es einen wichtigen Beitrag zur Bestimmung der tatsächlich auf einer bestimmten Fläche ausgebrachten Düngermenge und, in Verbindung mit zugehörigen Ertragsdaten, die genauso den einzelnen Punkten zugeordnet werden müssen - zu den dabei auftretenden Problemen siehe MUHR und NOACK (2002) -, zur Ermittlung von Input-Output-Verhältnissen liefern.

4 Literatur

- GRIEPENTROG, H. W.; PERSSON, K. (2001): A model to determine the positional lag for fertiliser spreaders. Third European Conference on Precision Agriculture, 18.-20. Juni 2001, Montpellier, S. 671-676.
- MUHR, T.; NOACK, P. (2002): Aufbereitung von Ertragsdaten. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. - Sonderveröffentlichung 038, Darmstadt, S. 169-178.