

Anforderungen an die Dynamik teilflächenspezifischer Applikationstechnik

Landmaschinen für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung heterogener Pflanzenbestände erfordern im Unterschied zur schlag-einheitlich arbeitenden Technik eine deutlich höhere Arbeitsdynamik. Ausgehend von allgemeinen Anforderungen an die teilflächenspezifische Applikationsdynamik werden die spezifischen Parameter Ortsauflösung, Verzögerungszeit und Grenzfrequenz näher betrachtet. Am Beispiel einer Landmaschine mit Pendelsensor und Zentrifugaldüngerstreuer wurden die spezifischen Parameter messtechnisch untersucht. Die verwendeten Messverfahren für dieses System werden erläutert und die erzielten Messergebnisse zur Diskussion gestellt.

Dr.-Ing. Hans-R. Langner und Dipl.-Ing. Hartmut Böttger sind wissenschaftliche Mitarbeiter der Abteilung Technik im Pflanzenbau (Leitung: Dr.-Ing. Detlef Ehlert) am Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam (Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr.-Ing. J. Zaske); e-mail: hlanger@atb-potsdam.de

Schlüsselwörter

Teilflächenspezifische Bewirtschaftung, Applikationstechnik, Pendelsensor, Verzögerungszeit, Grenzfrequenz

Keywords

Site-specific cultivation, application technology, pendulum-meter, delay time, limiting frequency

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 03417 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Im teilflächenspezifischen Pflanzenbau ist die ortsbezogene Bestimmung bewirtschaftungsrelevanter Parameter notwendig, wie etwa bei Düngung, Pflanzenschutz und Ertrag. Für die Ortsauflösung wird in [1] ein Raster von 1 m gefordert, wobei diese Rasterung des Schlages in Fahrtrichtung und quer zur Fahrtrichtung in der Regel gleich groß sein sollte. Andere Ansätze gehen von der Arbeitsbreite üblicher Landmaschinen aus und fordern die Arbeitsbreite oder einen Teil der Arbeitsbreite als notwendige Ortsauflösung.

In der Regel kann beim Einsatz von Sensoren in Fahrtrichtung, abhängig von der Fahrgeschwindigkeit, eine hohe Ortsauflösung realisiert werden. Quer zur Fahrtrichtung können mehrere fest installierte Sensoren eingesetzt werden, was technisch relativ aufwendig ist. Eine weitere Lösung ist die Scannertechnik mit mechanisch bewegten Sensoren. Ein dritter Ansatz extrapoliert den Messwert eines Sensors auf die gesamte Arbeitsbreite der Landmaschine. Dieser Ansatz ist sinnvoll, wenn der Sensorwert für die gesamte Arbeitsbreite hinreichend repräsentativ ist und die Landmaschine nur begrenzte Möglichkeiten zur Beeinflussung der Querverteilung hat, wie es etwa bei einem Zentrifugaldüngerstreuer der Fall ist.

Zur grundsätzlichen Darlegung der Problematik werden unabhängig von der konkreten technischen Lösung die Werte 1 m, 3 m oder 6 m als geforderte Ortsauflösungen beispielhaft betrachtet. Ausgehend von diesen Werten werden zuerst die Anforderungen an die Abtastrate der Messtechnik zur Heterogenitätserfassung abgeleitet. Danach wird die gesamte Steuerung der teilflächenspezifischen Applikationstechnik mit Hilfe der Parameter Verzögerungszeit und Grenzfrequenz genauer untersucht.

Anforderungen an die Abtastrate

Beim Erfassen der ortsabhängigen Heterogenitäten müssen die Messwerte, zum Beispiel die Biomasse, über die Fahrgeschwindigkeit der Landmaschine in zeitabhängige Größen umgerechnet werden. Damit Ort und Zeit bei jedem Messwert richtig zugeordnet

werden können, liefert der Jobrechner im Traktor ein Taktsignal über den zurückgelegten Weg an die Messtechnik. In der Regel werden die Messwerte über die Heterogenität mit einem konstanten Zeittakt erfasst und für die Übergabe an das Bus-System mit einer konstanten Abtastrate digitalisiert.

Wie genau die Heterogenität im Pflanzenbestand erfasst werden kann, ergibt sich aus der Abtastrate der verwendeten Messtechnik und der Ortsauflösung. Der Zusammenhang zwischen diesen Größen kann durch Anwendung des Abtasttheorems von Nyquist hergestellt werden. Allgemein sind für die höchste zu erfassende Signalfrequenz mindestens zwei Abtastungen pro Periodendauer notwendig [2]. Daraus leitet sich Gleichung (1) ab, mit der die Abtastraten für die Datenerfassung in Abhängigkeit von verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten und Ortsauflösungen berechnet werden können. Tabelle 1 enthält einige Mindest-Werte als Beispiel.

$$\text{Abtastrate} \geq 2 \cdot \frac{\text{Fahrgeschwindigkeit}}{\text{Ortsauflösung}} \quad (1)$$

In der technischen Realisierung kann jedem Sensor genau ein Messkanal zugeordnet werden oder mehrere Sensoren werden zeitmultiplex über einen Messkanal betrieben. Beim Multiplexbetrieb von n Sensoren an einem Messkanal muss allerdings mit einer um den Faktor n erhöhten Abtastrate gearbeitet werden, um die durch Gleichung 1 formulierte Bedingung einzuhalten. Die Datenmenge D ist daher für die beiden Möglichkeiten der technischen Realisierung gleich groß.

Anwendungsbeispiel Pendelsensor-Zentrifugaldüngerstreuer

Der am Institut für Agrartechnik Bornim (ATB) entwickelte Pendelsensor [3] erzeugt ein elektrisches Pendelsignal mit einem speziellen Potentiometer. Dieses Signal wird innerhalb des Jobrechners Pendel verstärkt und mit einer festen Abtastrate digitalisiert. Die Pendelraten werden dann im Jobrechner für den Online-Betrieb weiterverarbeitet, also ausgehend von der minimal und maximal auszubringenden Düngermenge und dem

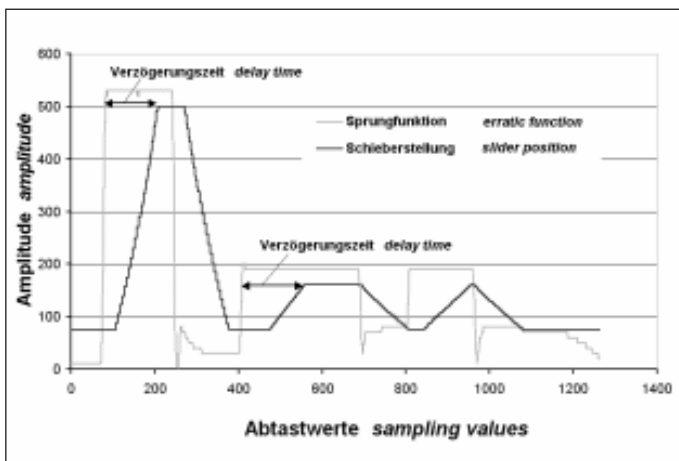


Bild 1: Messung der Verzögerungszeit

Fig. 1: Delay time measurement

aktuellen Pendelwinkel werden die Prozessdaten für den Jobrechner Düngestreuer berechnet. Entsprechend der gewählten Applikationsfunktion ergibt sich eine zur Pflanzenmasse korrelierende Düngermenge. Dieser Wert wird über das Bus-System zum Jobrechner Düngestreuer geleitet. Hier wird die auszubringende Düngermenge durch Verändern der Dosierschieberstellung dem aktuellen Pendelwinkel angepasst.

Zur Untersuchung der Arbeitsdynamik dieses Systems wurde im Traktor eine spezielle Datenerfassung realisiert¹⁾.

In der praktischen Anwendung des Pendelsensors mit Zentrifugaldüngestreuer ist diese spezielle Datenerfassung nicht erforderlich, sie war jedoch eine Voraussetzung für die nachfolgenden Untersuchungen zur Arbeitsdynamik.

Anforderungen an die Dynamik des Systems Pendelsensor- Düngestreuer

An der Landmaschine mit Pendelsensor und Düngestreuer wurde durch praktische Tests überprüft, welche Ortsauflösungen bei bestimmten Fahrgeschwindigkeiten erreichbar sind und wie stark die Mechanik des Düngerstreuers durch eine schnelle Signalverarbeitung belastet wird. Zur Charakterisierung der Arbeitsdynamik waren zwei unterschiedliche Messverfahren notwendig: Ein erstes Verfahren schaltete sprunghafte Änderungen auf den Eingang des zu untersuchenden Systems und bestimmte die Verzögerungszeit zwischen Ein- und Ausgangssignal. Ein weiteres Verfahren schaltete ein sinusförmiges Signal mit variabler Frequenz auf den Eingang des Systems und erfasste die Amplitude des Ausgangssignals in Relation zu einer Bezugsamplitude. Das entspricht einer Messung der Grenzfrequenz des Systems.

Messung der Verzögerungszeit

Für die Untersuchungen der Arbeitsdynamik wurde an einem Dosierschieber des Düngerstreuers ein Wegsensor installiert und der zeitliche Verlauf dieses Wegsignals unter¹⁾ Die technische Lösung wurde in Zusammenarbeit mit der Fa. Müller-Elektronik aus Salzkotten erstellt.

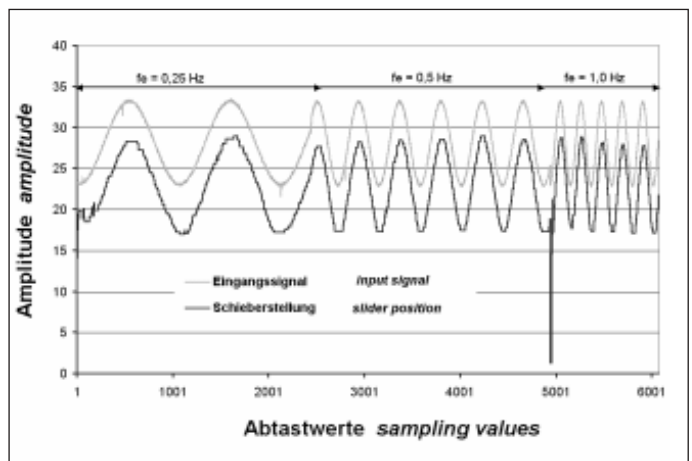


Bild 2: Messung der Grenzfrequenz

Fig. 2: Limiting frequency measurement

den genannten Messbedingungen aufgezeichnet.

Um die Verzögerungszeit innerhalb der untersuchten Landmaschine zu messen, wurde der Pendelsensor sprunghaft um einen definierten Betrag ausgelenkt und die Stellungänderung des Schiebers am Düngestreuer protokolliert. Bild 1 zeigt einen gemessenen Verlauf von Pendelwinkel und Schieberstellung am Düngestreuer. Die auf die Endwerte am Dosierschieber bezogenen Verzögerungszeiten sind zusätzlich gekennzeichnet. Diese Verzögerungszeiten zwischen Pendelsignal und Schieberpositionierung sind für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung erforderlich, da die Länge der Landmaschine einen Versatz zwischen dem Ort der Messwertfassung und dem Ort der Düngerausbringung verursacht. Die berechnete Düngermenge wird nur dann am richtigen Ort appliziert, wenn der Versatz zwischen Sensorposition und Applikationsort des Düngerstreuers durch eine genau abgestimmte Verzögerungszeit innerhalb der Signalverarbeitung kompensiert wird. Auch bei einem offline-Betrieb des Düngerstreuers, (Steuerung über Daten auf Chipkarten) ist eine Verzögerungszeit notwendig. Ursache ist hierbei der Versatz zwischen der Position der GPS-Antenne und der gespeicherten Position für die Düngerausbringung [5].

Die Landmaschine mit Pendelsensor und Zentrifugaldüngestreuer hat eine Arbeitsbreite von 24 m und wird mit einer Geschwindigkeit von maximal 5 m/s bewegt. Der Pendelsensor befindet sich an der Frontseite des Traktors und der Applikationsort des Düngerstreuers liegt ~ 18 m hinter dem Traktor. Bei einer Länge des Traktors von 7 m ergibt das eine Gesamtlänge des Systems von 25 m. Damit diese Gesamtlänge korrekt berücksichtigt wird, ist eine von der

Fahrgeschwindigkeit abhängige Verzögerungszeit mit folgendem Wert in die Signalverarbeitung einzufügen:

$$\text{Verzögerungszeit} = \frac{\text{Gesamtlänge/Fahrgeschwindigkeit}}{\text{Schwindigkeit}} \quad (2)$$

Zur Kompensation der Gesamtlänge der Landmaschine mit Pendelsensor und Zentrifugaldüngestreuer ist für eine Arbeitsgeschwindigkeit von 5 m/s eine Verzögerungszeit von 5 Sekunden zwischen dem Pendelsignal und der Schieberpositionierung am Düngestreuer vorzusehen.

Messung der Grenzfrequenz

Die Grenzfrequenz der untersuchten Landmaschine ist die Messfrequenz, bei der sich die Amplitude am Dosierschieber auf den 0,71fachen Wert der Bezugsamplitude verringert hat. Als Bezugsamplitude diente die Amplitude, welche bei einer Messfrequenz von 0,01 Hz ermittelt wurde. Für die Messungen wurde ein digitaler Frequenzgenerator als Signalquelle verwendet, der anstelle des Pendelsensors sinusförmige Eingangssignale in das System einspeiste. Die Verläufe der Ein- und Ausgangsgröße für drei ausgewählte Frequenzen sind in Bild 2 zu sehen.

Allgemein vermeidet man Amplitudenfehler durch eine zu langsame Messtechnik dadurch, dass die Grenzfrequenz der Messtechnik mindestens um den Faktor 10 größer gewählt wird als die höchste zu messende Signalfrequenz [6]. Die untersuchte Landmaschine soll Signalfrequenzen von maximal 2,5 Hz erfassen, die bei einer Geschwindigkeit von 5 m/s auftreten können.

Am Ende der Untersuchungen wurde eine Grenzfrequenz von 1,6 Hz gemessen, die bei einer Fahrgeschwindigkeit von 5 m/s eine Ortsauflösung von ~ 3 m ermöglicht. Bei Fahrgeschwindigkeiten unter 2 m/s wird eine Ortsauflösung von 1 m erreicht.

Tab. 1: Werte der Mindest-Abtastrate für verschiedene Ortsauflösungen und Fahrgeschwindigkeiten

Table 1: Values of minimum sample rates for different site resolution and driving speed

Fahrgeschwindigkeit	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s
Ortsauflösung = 1 m	4	6	8	10	12
Ortsauflösung = 3 m	1,33	2	2,67	3,33	4
Ortsauflösung = 6 m	0,67	1	1,33	1,67	2