

Eiko Thiessen, Kiel

# Variabilität der Teilflächen bei der sensorgesteuerten Stickstoffdüngung

*Auch bei der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung werden auf den Teilflächen konstante Applikationsmengen ausgebracht. Diese Mengen sind natürlich auf den ganzen Schlag gesehen variabel und richten sich nach den Anforderungen der unterschiedlichen Teilflächen. Die Größen dieser Teilflächen werden nachfolgend untersucht. Dazu werden reflexionsoptische Messwerte längs der Fahrgassen herangezogen, da diese Sensorwerte die unterschiedlichen Bestände der Teilflächen beschreiben. Es zeigte sich nach geostatistischer Analyse, dass selbst im stark heterogenen östlichen Hügelland Schleswig-Holsteins die Bestände meist innerhalb einer Arbeitsbreite (24 m) nahezu gleichmäßig sind.*

Dipl. Phys. Eiko Thiessen ist Mitarbeiter am Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Universität Kiel (Dir.: Prof. Dr. E. Isensee), Max-Eyth-Str. 6, 24118 Kiel; e-mail: [ethiessen@ilv.uni-kiel.de](mailto:ethiessen@ilv.uni-kiel.de)  
Gefördert durch das Stipendienprogramm der Deutschen Bundesstiftung Umwelt.

## Schlüsselwörter

Sensor, Stickstoffdüngung, Teilflächengröße

## Keywords

Sensor, nitrogen application, size of part field

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 02412 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Bei der sensorgesteuerten Stickstoffdüngung werden während der Fahrt mit Sensoren Informationen über den Pflanzenbestand gewonnen. In der Praxis wird der Hydro N-Sensor eingesetzt, der über das Sonnenlicht die Pflanzenreflexion (Kieler Verfahren [1]) misst. Andere Verfahren wie Pendelsensor [2] und Fluoreszenzemission [3] sind auch möglich. Gemeinsam ist den Methoden, dass aus den Sensorwerten online eine Applikationsmenge berechnet und ausgebracht wird.

Dagegen wird bei dem so genannten „mapping approach“ vor der Düngefahrt eine Applikationskarte erstellt und per GPS abgearbeitet. Informationsgrundlage sind hierfür Ertragskarten, Bodenkarten, Luftbilder und ähnliches.

Um die Teilflächen für den mapping approach zu definieren, gibt es verschiedene Möglichkeiten. So können aus Ertragskarten, Reliefkarten, Bodenuntersuchungen und Luftbildern die Grenzen für die Teilflächen festgelegt werden, indem die Eigenschaften in Klassen zusammengefasst werden [4]. Diese Verfahren zielen darauf ab, wegen des Arbeitsaufwands möglichst wenige, große Teilflächen zur konstanten Behandlung heran zu ziehen.

Bei der sensorgesteuerten Stickstoffdüngung mit einem Schleuderstreuer richtet sich die Teilflächengröße nach der Arbeitsbreite (typischerweise 24 m). Zur Verteilung in

Tab. 1: Eigenschaften der verschiedenen Regionen, ausgedrückt über die Analyse von den Sensorwerten. REIP<sub>mittel</sub>: Mittelwert der Sensorwerte auf dem Schlag; REIP<sub>std</sub> dessen Standardabweichung; MCD: minimale Teilflächengröße (mean correlated distance); WR: Wintererbsen, WW: Winterweizen, WG: Wintergerste

Table 1: The characteristics of various regions, expressed by the geostatistical analysis on the sensor values. REIP<sub>mittel</sub>: mean of the value of the whole plot; REIP<sub>std</sub> its standard deviation; MCD: minimum part field length (mean correlated distance); WR: winter rape, WW: winter wheat, WG: winter barley

Region	Frucht, Feld, Termin	REIP <sub>mittel</sub> [nm]	REIP <sub>std</sub> [nm]	MCD [m]
östliches Hügelland	WR, Achterkoppel	722,2	0,6	75
	16. 4. 99			
	WW, Achterkoppel			
	23. 3. 00	721,4	1,2	33,5
	27. 4. 00	727,7	0,7	28,4
	31. 5. 00	729,7	0,5	13,2
	WG, Achterkoppel			
	4. 4. 01	718,7	0,9	5,9
	23. 4. 01	719,8	1,2	32,8
	30. 5. 01	723,9	0,8	34,1
	WG, Kronskoppel			
	26. 4. 00	725,8	0,7	11,8
	11. 5. 00	728,2	0,5	14,7
	WW, Viehkoppel			
	27. 4. 99	723,2	0,9	8,6
	26. 5. 99	727,5	1	12
	WG, Niedeel			
	16. 4. 99	722,6	0,8	17
	26. 5. 99	729,5	0,8	99,1
	WW, Niedeel			
4. 4. 01	718,8	0,7	13,4	
17. 4. 01	720	0,8	7,2	
7. 5. 01	725,5	1,1	7,5	
30. 5. 01	732,6	0,8	7,4	
13. 6. 01	732,4	0,7	32,9	
Geest	WG, Olenhöbek			
	23. 4. 99	721,3	0,7	29,4
	19. 5. 99	724,7	0,5	33,7
	WR, Olenhöbek			
	11. 4. 00	720,1	0,4	18
Fehmarn	WW, Olenhöbek			
	8. 5. 01	724,4	1,3	46,9
	7. 6. 01	728,5	1,1	27,3
	WW, Ostfeld			
	6. 5. 01	724,9	0,6	116,1
	4. 6. 01	732,1	0,6	139
	WG, Hohlblöcken			
6. 5. 01	728,1	0,8	28,6	
4. 6. 01	728,9	0,7	32	

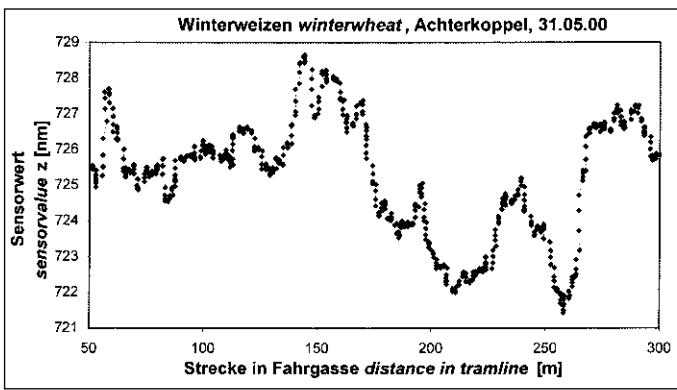


Bild 1: Sensorwerte längs einer Fahrgasse im Winterweizen zum Termin der dritten Stickstoffgabe

Fig. 1: Sensor values along a tramline for winter wheat at the time of third dressing

Fahrtrichtung ist eine metergenaue Auflö- sung möglich, aber nicht sinnvoll, da so zwar Heterogenitäten im Meterbereich erfasst werden, die Querverteilung aber konstant 24 m beträgt. Im Folgenden soll untersucht werden, ob die kleinstmögliche Teilflächen- gröÙe von 24 m • 24 m die Heterogenitäten im Pflanzenbestand erfasst.

### Versuchsdurchführungen

Zu den Terminen der Stickstoffgaben wur- den Reflexionsmessungen von Wintergetrei- de und -raps in konstant gedüngten Fahrgas- sen durchgeführt. Dabei sind typische, nord- deutsche Regionen ausgewählt: Das stark heterogene östliche Hügelland mit wech- selndem Relief, die eher sandige Geest und homogene Schläge auf dem flachen Fehmarn. Das verwendete fahrzeuggestützte Sensorsystem ist in [5] beschrieben. Die Sensorwerte wurden mit GPS-Daten und der zurückgelegten Strecke aufgezeichnet.

### Datenauswertung

Die Daten, die während der Überfahrt erho- ben worden sind, dienen zur Bestimmung der minimalen Teilflächengröße, also der Fläche, auf der der Stickstoffbedarf als kon- stant angenommen werden kann, und der Va- riabilität des Bestandes über den ganzen Schlag. Als Grundlage für den Stickstoffbe- darf werden die Sensorwerte (Wendepunkt- position) herangezogen, da diese zeigen, wie stark sich der Pflanzenbestand mit der Ent- fernung ändert.

Man erkennt in *Bild 1*, dass sich der Sen- sorwert einer Fahrgasse innerhalb von 20 m für die meisten Abschnitte nicht wesentlich ändert. Um diese wichtige Größe aber nicht subjektiv aus einigen kurzen Feldabschnit- ten abzuleiten, wird eine geostatistische Analyse der gesamten Strecke durchgeführt.

Es wird ein Semivariogramm von ausge- wählten Flächen erstellt. In diesem Dia- gramm sind die Abweichungen der Sensor- werte, ihre Varianz  $2\gamma$ , voneinander gegen ihre Entfernung  $h$  aufgetragen. Die  $n$  Sen- sorwerte  $z$  hängen natürlich von dem Ort  $x_i$

( $i=1\dots n$ ) auf dem Feld ab und so ergibt sich die Semivarianz  $\gamma$  zu:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

In *Bild 2* ist diese Semivarianz exemplarisch für die Daten aus *Bild 1* dargestellt. Solch ein Semivariogramm weist einige Charakte- ristika auf: Ab einer bestimmten Entfernung, dem „range“  $h_{max}$ , zeigt die Eigenschaft  $z$  des Ortes  $x_i$  eine maximale Semivarianz, das „sill“  $s$ . Dies bedeutet, dass bei einer solchen Entfernung die Eigenschaften unabhängig voneinander geworden sind.

Als eine minimale Teilflächengröße wird die „mean correlated distance“ MCD [6] be- rechnet:

$$MCD = \int_0^{h_{max}} \frac{s - \gamma(h)}{s} dh \quad (2)$$

Für das Beispiel aus *Bild 2* ergibt sich mit ein- em sill von  $3,3 \text{ nm}^2$  und einem range von 60 m eine minimale Teilflächengröße von 26 m. Dabei muss betont werden, dass es sich um einen Mittelwert handelt, der durch die Ana- lyse errechnet wurde. Bei der Stickstoffap- plikation wird es natürlich einige wenige Stellen geben, die eine kleinräumigere Hete- rogenität zeigen und mit beispielsweise einer kleineren Arbeitsbreite behandelt werden müssten, aber für die meisten Stellen ist die- se Größenannahme gerechtfertigt.

### Teilflächengröße und Heterogenität

Die Teilflächengrößen der gemessenen Fel- der sind in *Tabelle 1* aufgeführt. Zusätzlich ist die Variabilität der Sensorwerte, ausge- drückt über den Mittelwert  $REIP_{mittel}$ , und die Standardabweichung  $REIP_{std}$  auf dem ganzen Schlag angegeben.

Letzteres lässt eine Aussage zu, ob eine teilflächenspezifische Düngung sinnvoll ist oder ob der Pflanzenbestand so homogen ist, dass eine konstante Stickstoffgabe genügt. Ersteres ist für die Größe dieser Teilflächen entscheidend.

Bei den mittleren Sensorwerten fällt auf, dass sich im Laufe der Vegetationsperiode der Sensorwert erhöht. Dies liegt natürlich an der Biomassezunahme beim Pflanzen- wachstum: von März bis April bestocken die

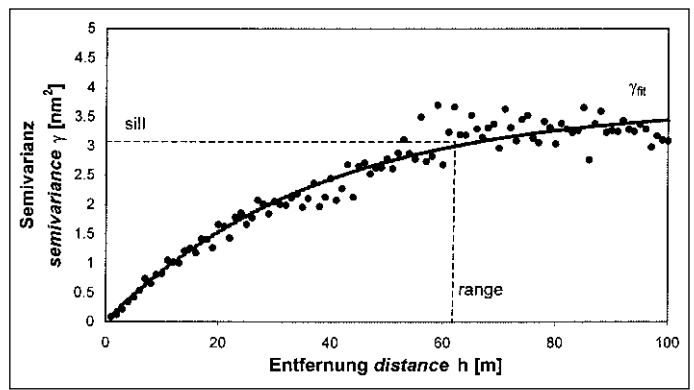


Bild 2: Semivariogramm der Daten aus Bild 1. Eingezeichnet ist auch die angepasste Funktion  $\gamma_{fit}$  zur Bestimmung von  $s$  und  $h_{max}$

Fig. 2: Semivariogram of the data taken from figure 1. The line present the fitted function  $\gamma_{fit}$  used for estimation of  $s$  and  $h_{max}$

Getreidepflanzen, Ende April beginnen sie zu schossen. Dabei ist beim Winterweizen diese Zunahme größer und dauert länger (bis in den Juni) an als bei der Wintergerste.

Man erkennt aus *Tabelle 1*, dass sich die Felder in den Regionen des östlichen Hügellandes über die Geest hin zu Fehmarn durch eine größere Standardabweichung der Sen- sorwerte und eine kleinere minimale Teilflächenlänge auszeichnen. Im östlichen Hügelland beträgt die Standardabweichung im Mittel  $0,82 \text{ nm}$ , in der Geest  $0,8 \text{ nm}$  und auf Fehmarn  $0,68 \text{ nm}$ . Die minimalen Teilflächenlängen liegen im Mittel im östlichen Hügelland bei  $25,2 \text{ m}$ , in der Geest um  $31 \text{ m}$  und auf Fehmarn sogar bei  $79 \text{ m}$ . Dies ist zu erwarten, da die Felder auf Fehmarn einen homogenen Boden aufweisen. Dass aber selbst dort eine deutliche Differenzierung der Teilflächen auftritt – gekennzeichnet durch die deutlich von Null verschiedene Standardabweichung –, lässt eine teilflä- chenspezifische Düngung sinnvoll erschei- nen.

Die meisten Felder zeigen eine Abnahme der Variabilität im Laufe der Vegetationszeit, als ob der heterogene Bestand im Frühjahr sich zum Sommer hin angleicht. Die MCD variiert stark innerhalb der Termine.

Die MCD kennzeichnet die Teilflächen- gröÙe derart, dass sie die Länge angibt, auf der die Sensorwerte als annähernd konstant angenommen werden können. Somit stellt sie eine untere Grenze für die Teilflächen- länge dar, die mit Sicherheit konstant behan- delt werden darf. Dies ist eine wichtige Größe für die Arbeitsbreite und Einteilung der Teilflächengrößen bei der teilflächenspe- zifischen Stickstoffdüngung: Die Heteroge- nitäten sollten erfasst werden und nicht durch zu grobe Aufteilungen konstanter Düngungen durch Arbeitsbreite und Teilflächendefinition unberücksichtigt blei- ben. Obwohl die MCD gerade im östlichen Hügelland bei einigen Terminen unter  $10 \text{ m}$  liegt (im Mittel aber über der Arbeitsbreite), ist die Düngung mit einem Schleuderstreuer der typischen Arbeitsbreite von  $24 \text{ m}$  zur Be- handlung der Heterogenitäten als ausrei- chend anzusehen.