

Yurui Sun, Lutz Damerow, Jianhui Lin, Huijuan Zhang und Peter Schulze Lammers

Bestimmung der Porosität von Böden durch Messung der Oberflächenrauigkeit

Die Bodenbearbeitung zielt auf eine für die Einbettung und den Auflauf von Samen günstige Struktur der Oberfläche ab. Die Oberflächenrauigkeit und Oberflächenporosität sind zwei Größen, die die physikalischen Bedingungen der Oberfläche beschreiben und deshalb das Ergebnis der Bodenbearbeitung repräsentieren. Eine kurzfristige Ermittlung dieser beiden Parameter erlaubt daher eine Beurteilung der Qualität der Bodenbearbeitung. Während die Oberflächenrauigkeit mit einem Relief-Laserscanner im Feld durchgeführt werden kann, muss die Porosität im Labor bestimmt werden. Die Untersuchung befasst sich deshalb mit dem Zusammenhang beider Größen und ergibt in einem mittelfristigen Zeitraum (< 3 Wochen), der für die Saatbettbereitung von vorrangiger Bedeutung ist, eine hohe Korrelation zwischen der Oberflächerrauigkeit und der Oberflächenporosität.

Schlüsselwörter

Relief-Laserscanner, Bodenbearbeitung, Rauigkeitsindex

Keywords

Soil roughness, laser profiler, tillage

Abstract

Sun, Yurui; Damerow, Lutz; Lin, Jianhui; Zhang, Huijuan and Schulze Lammers, Peter

Predicting soil surface porosity by using a fine-scale index of roughness

Landtechnik 64 (2009), no. 2, pp. 134 - 137,
4 figures, 1 table, 9 references

Porosity of the top soil strongly influences soil water movement, energy exchange, nutrient cycling, and seedlings germination. As there is no adequate method to determine the soil porosity in the field it is proposed to investigate the correlation between soil surface porosity and roughness. The terrain and micro relief was measured by a laser profiler for three different tillage types in a period of 45 days and the correlation with the porosity measured by pycnometer method is presented.

Energieaustausch, die Nährstoffversorgung sowie die Keimentwicklung [1,2] und ist damit ein wichtiges Maß für die Saatbett-Qualität. Das Standardgerät zur Ermittlung der Porosität von Stoffen ist das Pycnometer, das auch für Böden mit ausreichend hoher Genauigkeit angewendet werden kann. Das Verfahren ist allerdings zeitaufwendig, da die Proben durch Trocknung (24 h bei 105 °C) vorbereitet werden müssen. Im Gegensatz dazu kann die Messung der Oberflächenrauigkeit mittels Relief-Laserscanner [3,4,5] berührungslos und mit unmittelbarer Datenverarbeitung im Feld durchgeführt werden. Wegen der einfachen Anwendbarkeit dieser Methode wurde die Korrelation zwischen beiden Größen untersucht [6]. In einer Vorstudie wurde die Standardabweichung der Bodenebenenheiten (ESD, elevation standard deviation) in zweidimensionaler Ausdehnung als Index für den Zusammenhang zwischen Oberflächenporosität und -rauigkeit verwendet. Die Standardabweichung der Bodenerhebungen resultiert aber aus dem Flächenprofil und dem Mikrorelief und spricht nicht in ausreichendem Maße auf skalenabhängige Einflüsse an. Die weiteren Untersuchungen konzentrierten sich deshalb auf:

1. die Definition eines Index, der die Einflüsse der feinskaligen Anteile der Rauigkeitsmessung für den Zusammenhang zwischen Boden-Oberflächenrauigkeit und -Oberflächenporosität berücksichtigt,
2. die Verifikation dieses Index für Oberflächen bei unterschiedlichen Bodenbearbeitungen und
3. die Verifikation des feinskaligen Index (RI) für verschiedene Rastergrößen.

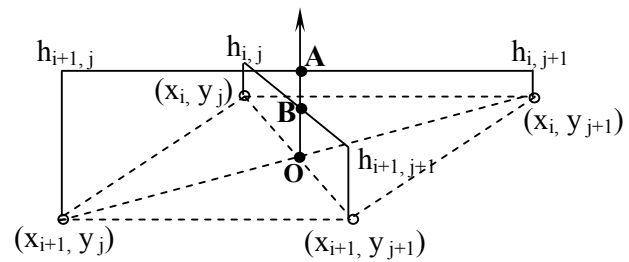
■ Die Porosität der oberflächennahen Schicht eines bearbeiteten Bodens beeinflusst in hohem Maße den Wasserfluss, den

Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden auf dem Versuchsgut Dikopshof der Universität Bonn auf einer Fläche mit schluffigem Lehm (17 % Sand; 67 % Schluff, 16 % Ton) und einem Humusgehalt von 1,89 % durchgeführt. Um den Effekt verschiedener Bodenbearbeitungen auf die Oberflächenrauhigkeit über die Zeit zu untersuchen, wurden vier Parzellen (30 x 3 m) angelegt und vier Bearbeitungsformen angewandt: a) GN: Flügelscharrubber mit Hohlstabeisen zur Einebnung der Oberfläche und Rohrstabwalze sowie Flachstabwalze als Nachläufer, b) G: Federzahngrubber ohne Nachläufer, c) PRP: Pflug mit Untergrundpacker (vor- und nachlaufenden Krümmerwalzen) sowie d) KE: Kreiselegge mit Zahnpackerwalze und Krümmerwalze als Nachläufer. Die Messungen wurden auf einer Teilfläche (2 x 1 m) in jeder Parzelle in Zeitintervallen von fünf Tagen zwischen dem 11. August und dem 25. September 2006 durchgeführt. Zur Überprüfung der Porosität wurden Bodenproben mit Hilfe eines Stechzylinders gezogen und im Labor mittels Pycnometer untersucht. Die gewählte Zeitspanne war von häufigen Niederschlagsereignissen gekennzeichnet.

Die Rauigkeit der Bodenoberfläche wurde mit einem, im Institut für Landtechnik entwickelten, Reliefmeßsystem (RMS) ermittelt. Das System ist transportabel und besteht aus einer Laser-Triangulationsmeßeinheit, einem Mess- und Steuerrech-

Abb. 1



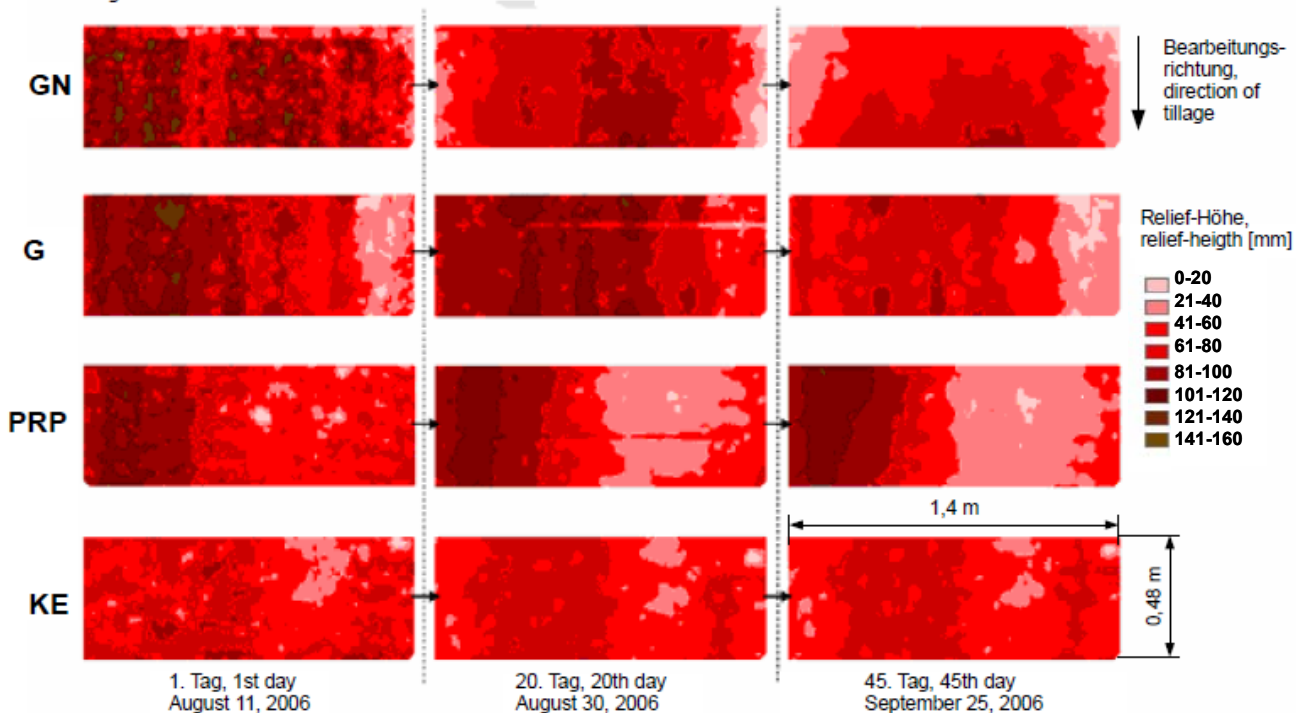
Geometrische Darstellung des Rauigkeitsindex (RI) mit h_{AO} und h_{BO} aus Gleichung 1. „O“ ist der Mittelpunkt des Rasters, h_{ij} ist die Unebenheitshöhe an dem Ort x_i, y_j , h_{AO} ist die projizierte Distanz zwischen A und O und A ist der Mittelpunkt von h_{ij+1} und $h_{i,j+1}$. h_{BO} ist die projizierte Distanz zwischen B und O, und B ist der Mittelpunkt zwischen h_{ij} und $h_{i+1,j}$.

Fig. 1: Geometrical representation of RI defined as Eq. (1). “O” = the middle point of the grid, h_{ij} = the height at any point of x_i and y_j . • h_{AO} = the projecting distance of A to O, and A is the middle point between $h_{i+1,j}$ and $h_{i,j+1}$. • h_{BO} = the projecting distance of B to O, and B is the middle point between h_{ij} and $h_{i+1,j}$.

ner, zwei Stellmotoren für die Bewegung des Laser-Triangulationsmeßsystems in x- (maximal 1400 mm) und y-Richtung (maximal 480 mm) und einer autarken Spannungsquelle. Die auf Schienen fahrende Laser-Triangulationsmeßeinheit des Gerätes misst den Abstand (z-Koordinate) zwischen Sensor und

Abb. 2

Bearbeitungsvariante,
method of tillage



Oberflächenänderung zu Beginn (1. Tag) sowie am 20. und 45. Tag der Untersuchung für vier verschiedene Bodenbearbeitungsformen GN: Flügelscharrubber mit Rohr- und Falchstabwalze; G: Federzahngrubber mit Normalscharen; PRP: Pflug mit Untergrundpacker und vor- und nachlaufender Krümmerwalze; KE: Kreiselegge mit Zahnpacker- und Krümmerwalze

Fig. 2: The surface changes of each tilled plot at 1st, 20th and 45th day on four different tillage-treatments GN: chisel plow with wing shares and two rollers, G: spring tine cultivator; PRP: moldboard plow with land packer and rear/front roller tillers; KE: rotary harrow with cage and crusher roller

Bodenoberfläche mit einer Auflösung von 1 mm. In den Versuchen wurde ein Rastermaß von 2 mm benutzt und die Bodenbearbeitungsrichtung als y-Achse gewählt.

In der Literatur finden sich verschiedene Indices für die Berechnung der Oberflächen-Unebenheit [7, 8, 9]. Allgemein können diese Indices in drei Kategorien eingeteilt werden: a) ESD, b) Gefälle-Winkel und c) Auto-Kovarianzfunktion. Der hier vorgeschlagene Index für den feinskaligen Bereich wird als Rauigkeitsindex (RI) definiert und basiert auf zwei Gleichungen.

$$\gamma_{ij} \text{ örtlicher Index: } \gamma_{ij} = \frac{|h_{AO} - h_{BO}|}{h_{AO} + h_{BO}} \quad (1)$$

Die Unebenheitsunterschiede h_{AO} und h_{BO} werden in **Bild 1** für beliebige Rastergrößen einer gescannten Fläche erläutert. Weiterhin wird der Rauigkeitsindex (RI) berechnet nach:

$$RI = \frac{1}{n \times m} \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{i=0}^{n-1} \gamma_{i,j} \quad (2)$$

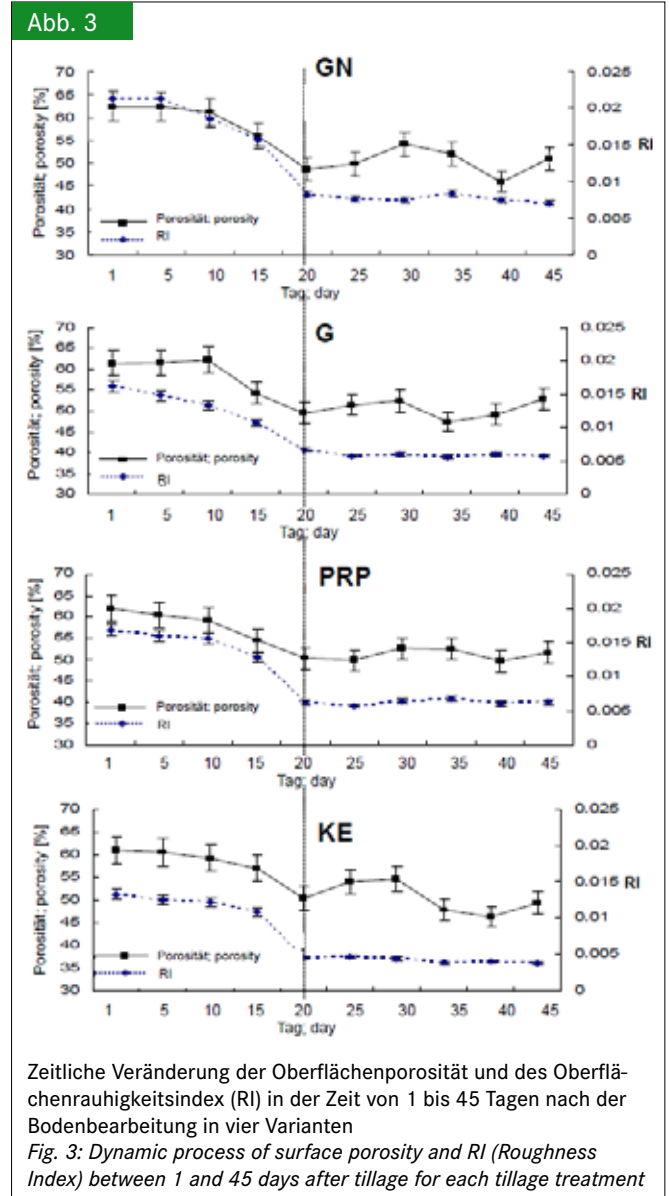
In **Gleichung 2** ist n die Anzahl der Messungen entlang der x-Achse und m die Anzahl der Messungen entlang der y-Achse. **Gleichung 1** ist eine Differentialfunktion bezogen auf ein definiertes Rastermaß. **Gleichung 2** hingegen ist ein globaler Mittelwert γ_{ij} für den gescannten Bereich. Das Rastermaß für **Gleichung 1** wurde mit 2 x 2 cm sehr klein gewählt, um den Effekt großskaliger Unebenheiten zu reduzieren.

Ergebnisse und Diskussion

■ Temporäre Effekte der Bodenunebenheit

Um einen Einblick in die Veränderung der Oberflächen bei verschiedenen Skalen und über die Zeit zu bekommen, werden in **Bild 2** vier Gruppen von Karten dargestellt. Jede Karte stellt eine rechteckige Fläche von 1,48 x 0,48 m dar, die aus 1 680 Rasterelementen besteht. Die Karten werden für die vier Bodenbearbeitungsformen und für den 1., den 20. und den 45. Tag der Untersuchung dargestellt.

Werden die Karten mit gleicher Bodenbearbeitung (in **Bild 2** jeweils in horizontaler Richtung angeordnet) betrachtet, so können zwei Beobachtungen gemacht werden: Die Verteilung der Oberflächenrauhigkeit bei den einzelnen Bearbeitungsformen wird über die Zeit in der Fläche homogener. Vergleicht man weiterhin die Karten über die Zeit für jede Bearbeitungsform in



Zeitliche Veränderung der Oberflächenporosität und des Oberflächenrauhigkeitsindex (RI) in der Zeit von 1 bis 45 Tagen nach der Bodenbearbeitung in vier Varianten
 Fig. 3: Dynamic process of surface porosity and RI (Roughness Index) between 1 and 45 days after tillage for each tillage treatment

ihrer Gesamtheit, so treten die, durch die Bodenbearbeitungswerkzeuge verursachten, Bodenunebenheiten jeweils am ersten Tag für die Varianten GN, G und PRP deutlich in Erscheinung. Diese beiden Beobachtungen sprechen dafür, dass der in den **Gleichung 1** und **2** definierte Index (RI) ein geeignetes Maß ist, um einen Zusammenhang zwischen Rauigkeit und Porosität der Oberfläche im feinskaligen Bereich (Flächengröße < 2 x 2 cm) herzustellen.

■ Statistische Analyse der Werte zur Oberflächenrauhigkeit (RI) und Oberflächenporosität

Der Verlauf der Oberflächenänderung über der Zeit wird für die vier Bodenbearbeitungsformen in **Bild 3** dargestellt. In der ersten Phase fallen die Werte für die Oberflächenrauhigkeit ab. In der weiteren Zeit stellt sich ein nahezu gleichbleibender Verlauf ein.

Tab. 1

Parameter der linearen Regression zwischen der Oberflächenporosität und dem Oberflächenrauhigkeitsindex (RI) für vier Formen der Bodenbearbeitung
 Table 1: Parameters of linear regression for "surface porosity" and "RI" for each tillage treatment

Bearbeitungsform; Tillage type	$y = ax + b$ ($y =$ Oberflächenporosität, porosity; $x = RI$)					
	1. Phase, 1st stage (1~20 Tage, days)			2. Phase, 2nd stage(21~45 Tage, days)		
	a	b	R ²	a	b	R ²
GN	1052.3	40.064	0.98	29.783	50.006	0.001
G	1406.7	40.375	0.8896	-690	54.536	0.017
PRP	1074.9	42.824	0.932	3209.9	31.194	0.753
KE	1201.5	44.882	0.9825	7359.1	19.25	0.625

Die Anfangsporosität ist mit einem Wert von 62 % für alle Bearbeitungsformen nahezu gleich. Innerhalb der ersten 20 Tage fallen dann die Werte der Porosität bei allen Bearbeitungsformen ab. In der zweiten Phase (ab dem 20. Tag) schwanken die Werte der Porosität und verlaufen nicht mehr colinear mit den Werten der Rauigkeit.

In **Tabelle 1** sind, in Anlehnung dazu, die Ergebnisse der Regressionsrechnung für jede Teilfläche in den beiden Phasen aufgeführt. Das Bestimmtheitsmaß (R^2) für eine lineare Regression bei den unterschiedlichen Bearbeitungsformen liegt zwischen 0,889 und 0,982. Darüber hinaus ist der Ordinatenabschnitt (b) für die erste Phase von 20 Tagen weitgehend unabhängig von der Bodenbearbeitungsform (Wertebereich: 40,064 bis 44,882). Dieser Parameter hängt damit von den Aggregateigenschaften, dem Wassergehalt zum Zeitpunkt der Bodenbearbeitung sowie von der Textur ab. Zusätzlich enthält **Tabelle 1** die statistischen Ergebnisse der zweiten Phase (Tag 21 bis 45). Steigung (a) und Bestimmtheitsmaß (R^2) sind in dieser Phase uneinheitlich in Bezug auf die verschiedenen Arten der Bodenbearbeitung. Die Daten dieser Phase werden deshalb nicht in der folgenden Diskussion berücksichtigt.

■ Allgemeine Betrachtung der vier Bearbeitungsformen für den feinskaligen Bereich

Um einen Überblick über den Zusammenhang zwischen der Oberflächenrauigkeit und der Oberflächenporosität zu bekommen, wurden die Daten der ersten Phase zusammengefasst. Bei einer linearen Regression ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß (R^2) von 0,707. Die Standardabweichung für die Werte der Porosität betrug 2,6 %. Weiterhin wurde die Abhängigkeit des Bestimmtheitsmaßes (R^2) von der Rastergröße untersucht.

In **Bild 4** wird gezeigt, dass R^2 mit steigender Rastergröße abnimmt, was bedeutet, dass bei kleineren Rastern bessere Werte des Bestimmtheitsmaßes erreicht werden. Damit lässt sich nachvollziehen, dass der in dieser Untersuchung definierte Rauigkeitsindex (RI) auf den feinskaligen Teil des Bodenreliefs angewendet werden kann.

Zusammenfassung

Mit Hilfe eines Relief-Laserscanners wurde die Oberflächenrauigkeit von Flächen mit vier verschiedenen Bodenbearbeitungsformen untersucht. Neben der Ermittlung der Oberflächenrauigkeit war das Ziel der Versuche, die Korrelation mit der Porosität des Bodens als weiterem Faktor für die Qualität des Saatbettes zu ermitteln. Dazu wurde zunächst ein geeigneter Index für den feinskaligen Teil der Rauigkeit definiert und die Korrelation der beiden Größen errechnet. Für die verschiedenen Bodenbearbeitungsformen bestand in den ersten 20 Tagen der Untersuchung eine hohe Korrelation ($R^2 > 0,89$) zwischen der Rauigkeit und der Porosität des Bodens an der Oberfläche, die für den Auflauf insbesondere kleiner Samen von hoher Bedeutung ist. Aufgrund der Witterungseinwirkung nimmt die Aussagefähigkeit der Rauigkeit auf die Porosität im Laufe der Zeit ab, ebenso wie deren Bedeutung für das Wachstum der Jungpflanze.

Literatur

- [1] Bennicelli, R. P., Pniewski, W. und D.A. Zakrzhevsky: The effect of soil aeration on superoxide dismutase activity, malondialdehyde level, pigment content and stomatal diffusive resistance in maize seedlings. *Environ. Exp. Bot.* 39 (1998), S. 203–211
- [2] Bjarne, H., Schjonning, P. und E. Sibbesen: Roughness indices for estimation of depression storage capacity of tilled soil surfaces. *Soil Tillage Res.* 52 (1998), S. 103–111
- [3] Romkens, M.J., Wang, J.Y. und R.W. Darden: A laser microreliefmeter. *Trans. ASAE* 31 (1988), S. 408–413
- [4] Flanagan, D.C., Huang, C. und L.D. Norton: Laser scanner for erosion plot measurement. *Trans. ASAE* 38 (1995), S. 703–710
- [5] Michael, L.O., James, M.S. und R. Richard: Roughness measurement of soil surfaces by acoustic backscatter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67 (2003), S. 241–250
- [6] Sun, Y., Lin, J., Schulze Lammers, P. und L. Damerow: Estimating surface porosity by roughness measurement in a silt-loam field. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169 (2006), S. 630–632
- [7] Allmaras, R.R., Burwell, R.E., Larson, W.E., Holt, R.F. und W.W. Nelson: Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage. *USDA Conserve. Res. Report No. 7.* (1966) USDA-ARS, Washington, DC
- [8] Linden, D.R. und D.M. Van Doren: Parameters for characterizing tillage-induced soil surface roughness. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50 (1986), S.1560–1565
- [9] Lu, Z., Nan, C., Perdok, U.D. und W.B. Hoogmoed: Characterization of soil profile roughness. *Biosyst. Eng.* 91 (2005), S. 369–377

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze Lammers leitet die Abteilung Systemtechnik in der Pflanzenproduktion am Institut für Landtechnik der Universität Bonn; Nussallee 5, 53115 Bonn, E-Mail: lammers@uni-bonn.de

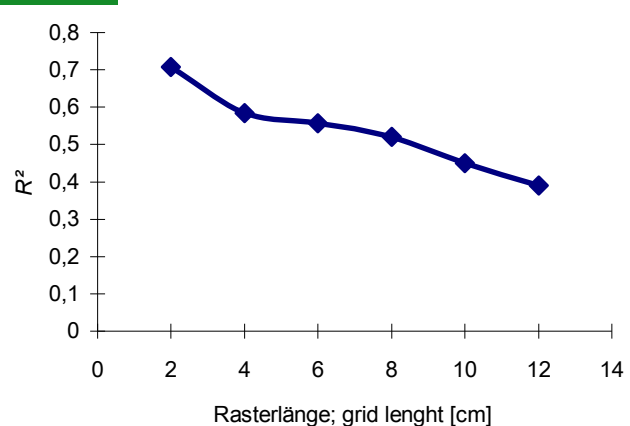
Dr.-Ing Lutz Damerow ist Ak. ORat. am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn, E-Mail: damerow@uni-bonn.de

Prof. Dr.-Ing. Yurui Sun leitet das Research Center for Precision Farming an der China Agricultural University, Box 63, East Campus, Qing Hua Dong Lu 17, Beijing, 100083, P.R.China, E-Mail: pal@cau.edu.cn

MSc. Huijuan Zhang ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Research Center for Precision Farming an der China Agricultural University, Box 63, East Campus, Qing Hua Dong Lu 17, Beijing, 100083, P.R.China, E-Mail: shuiyincy123@163.com

Dr. Jianhui Lin ist Dozent an der School of Technology, Beijing Forestry University, Qing Hua Dong Lu 35, Beijing, 100083, P.R. China, E-Mail: swiq_lin@163.com

Abb. 4



Abhängigkeit des Bestimmtheitsmasses (R^2) von der Länge des Rasters

Fig. 4: Dependency of R^2 on grid length