

# Saatbettfeinheit messen mit Bildanalyse und Laserprofilmeter

Thomas ANKEN, Thomas HILFIKER und Hubert BOLLHALDER, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon  
Ruggero SANDRI e Luigi SARTORI, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova, I-35020 Legnaro

**Leistungsfähige Traktoren und effiziente, zapfwellengetriebene Eggen bearbeiten in der Praxis den Boden häufig zu fein. Aus der Sicht des Bodenschutzes ist dies zu vermeiden. Zur Bestimmung der Saatbettfeinheit stand den Landwirten bis anhin kein Hilfsmittel zur Verfügung. Die neu erarbeitete Erhebung der Saatbettfeinheit durch Bildanalyse und Profilmeter führte in diesem Bereich zu neuen Erkenntnissen, die sich auf die Praxis übertragen lassen.**

Die Siebanalyse bedingt die Entnahme von Bodenproben mit einem Bodenhobel, das Lufttrocknen der Proben und deren Aussieben in verschiedene Fraktionen. Dies ist für die Landwirte zu aufwendig. Die Praktiker bestimmen die Saatbettfeinheit vor allem anhand einer optischen Beurteilung entsprechend der eigenen Erfahrung. Es stellt sich die Frage, ob sich die Saatbettfeinheit anhand der Beschaffenheit der Bodenoberfläche bestimmen lässt. Um dies zu klären, bestimmte die FAT in Zusammenarbeit mit der Universität Padua die Feinheit von Saatbetten mit der eigens dazu entwickelten digitalen Bildanalyse und einem Laserprofilmeter. Neben der genauen Bestimmung der Saatbettfeinheit war das Projektziel, eine praxistaugliche Methode zu entwickeln, mit der sich die Saatbettfeinheit auf einfache Art und Weise bestimmen lässt.

## Siebanalyse ist das Standardverfahren

Bei der Siebanalyse wird mit dem Bodenhobel von jeder Fläche eine Erdprobe bis auf eine Tiefe von 5 cm entnommen (Abb. 1). Wie bei den beiden anderen Verfahren beträgt die Probefläche 30 x 50 cm. Eine Siebmaschine teilt diese Bodenproben in die Fraktionen  $x_i$  [kg] = kleiner als 2,5 mm; 2,5 bis 5 mm; 5 bis 10 mm; 10 bis 20 mm; 20 bis 40 mm; 40 bis 80 mm und grösser als 80 mm auf. Daraus berechnet sich der Gewogene Mittlere Schollendurchmesser ( $GMD_{\text{Sieb}}$ ) gemäss der untenstehenden Formel nach Kemper und Rosenau (1986):

$$GMD_{\text{Sieb}} = \frac{\sum_{i=1}^7 \bar{x}_i \cdot d_i}{\sum_{i=1}^7 \bar{x}_i}$$

Die mittleren Durchmesser  $d_i$  der einzelnen Klassen betragen 1,25 mm; 3,75 mm; 7,5 mm; 15 mm; 30 mm; 60 mm und 100 mm. Die Siebanalyse gilt weltweit als Standardverfahren zur Bestimmung der Saatbettfeinheit.

## Neuentwickelte digitale Bildanalyse

Die FAT hat zur optischen Beurteilung der Saatbettfeinheit ein neues Bewertungssystem mit digitaler Bildanalyse entwickelt (Abb. 1). Dieses bestimmt die Anzahl Schollen und deren jeweilige Fläche. Das Hauptproblem war, die gleichfarbigen, «grau in grau» erscheinenden Schollen voneinander zu unterscheiden. Die Lö-

sung des Problems brachte der Trick, die Probeflächen mit verschiedenen Blitzwinkeln in einer Dunkelkammer zu fotografieren. Dies verursacht an den Rändern der Schollen einen Lichtgradienten (Schatten), der sich anschliessend für die Auswertung verwenden lässt. Die Kombination der mit vier verschiedenen Blitzwinkeln aufgenommenen Fotografien erlaubte schliesslich das Detektieren der einzelnen Schollen.

Folgende Arbeitsschritte sind für die Bildanalyse notwendig:

1. Eine Spiegelreflexkamera (70 mm Objektiv) mit Blitz erstellt im Abstand von 1,3 m über Boden vier Abbildungen derselben Probefläche. Eine transportable Dunkelkammer aus Holz, auf der die Kamera fix montiert ist, verdunkelt die Fläche. Um verschiedene Lichtgradienten (Schatten) zu erzeugen, wird mit vier entgegengesetzten Blitzrichtungen (oben, unten, rechts, links) je eine Aufnahme gemacht. Die Kamera bleibt dabei immer im Zentrum auf dieselbe Probefläche fixiert.

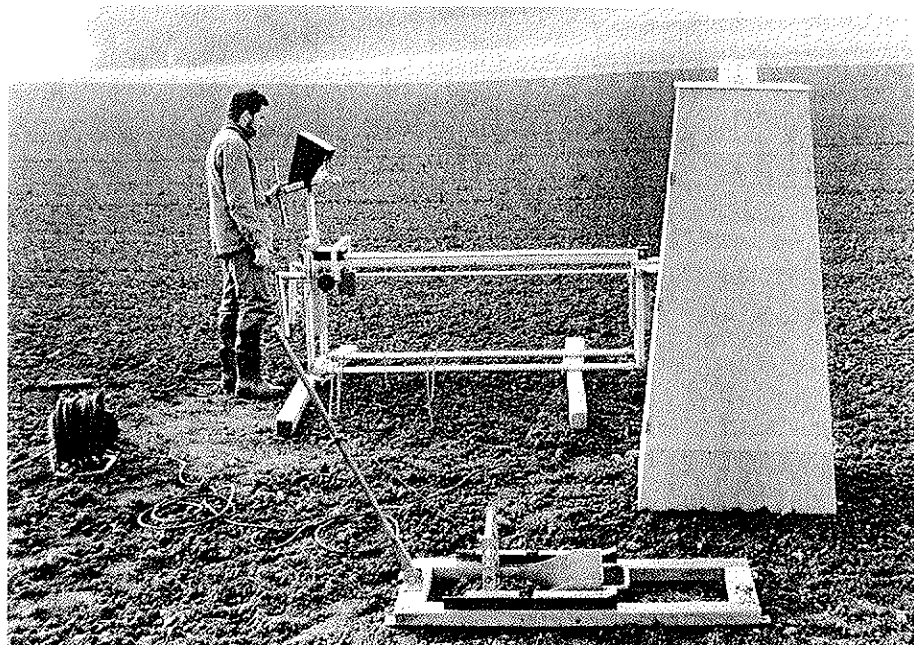


Abb. 1. Zur Bestimmung der Saatbettfeinheit mit der Siebanalyse erfolgte die Probenahme mit dem Bodenhobel (vorne im Bild). Das Laserprofilmeter (links) mass die Rauigkeit der Feldoberfläche. Die Fotografien für die Bildanalyse erfolgten mit Hilfe einer Dunkelkammer aus Holz (rechts).

2. Einscannen der vier Bilder und elektronisches Ausschneiden der Probeflächen. Die gewählte Auflösung beträgt 256 Graustufen bei 210 dpi (dots per inch = Anzahl Punkte pro 2,54 cm), was die Schollen schliesslich mit 40 dpi abbildet. Bei der Verwendung einer digitalen Kamera (Canon RC-560) entfiel dieser Schritt.

3. Auswerten der Bilder mit dem eigens erstellten C++-Programm für digitale Bildanalyse (Abb. 2).

4. Vergleich der detektierten Schollen mit einem Originalbild und durchführen von manuellen Korrekturen mit einem konventionellen Bildverarbeitungsprogramm (Photoshop). Danach ist die Detektion der Schollen und die Bestimmung deren Fläche erneut durchzuführen.

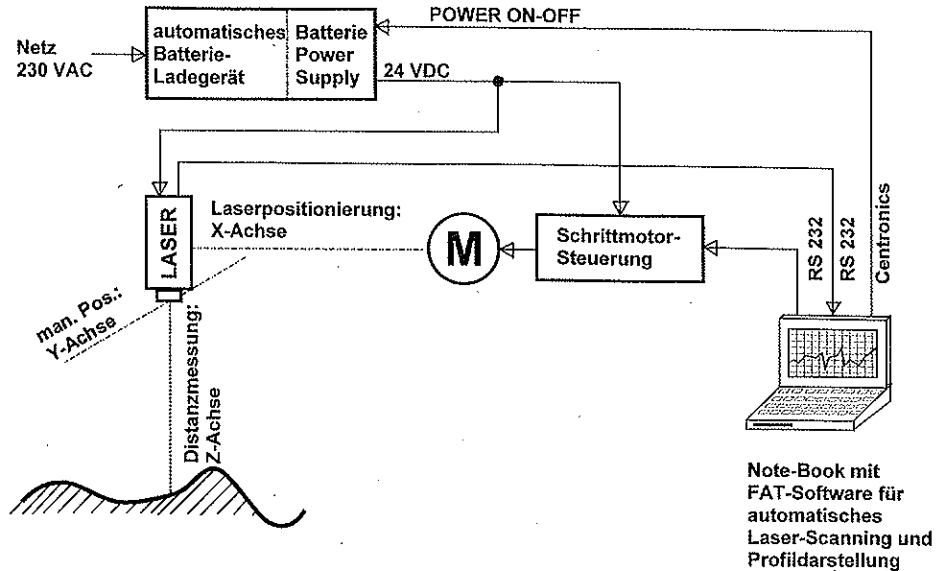


Abb. 3. Schematischer Aufbau des Laserprofilmeters.

## Messung der Rauigkeit mit Laserprofilmeter

Nach Rüttimann *et al.* (1995) und verschiedenen anderen Autoren ist die Rauigkeit der Feldoberfläche neben der Bodenbedeckung ein wichtiger Faktor, der das Auftreten von Bodenerosion mitbestimmt. Um diesen Einfluss messen zu können, hat die FAT ein Laserprofilmeter entwickelt (Abb. 1 und 3). Dieses misst auf der X-Achse automatisch alle 2 mm die Distanz zwischen der Bodenoberfläche und dem Lasermessgerät (Z-Achse). Das Lasermessgerät ist auf einem Schlitten montiert, welcher via Zahnriemen von

einem Schrittmotor positioniert wird. Die Positionsgenauigkeit des Lasers beträgt  $\pm 0,1$  mm. Die gesamte Steuerung und das Aufzeichnen der Daten besorgt die eigens dafür entwickelte Software (Pascal) im Notebook.

Das seitliche Verschieben (y-Achse) zum Ausmessen paralleler Profile erfolgte über eine Handspindel. Von allen acht Probeflächen pro Verfahren mass das Profilmeter 31 Profile im Abstand von 1 cm und 50 cm Länge (7781 Punkte). Der Mittelwert der Standardabweichung der 31 Profile einer Fläche dient als Parameter für die Quantifizierung der Rauigkeit der Feldoberfläche. Andere aufwendigere Rechenverfahren für die Bestimmung der Rauigkeit der Feldoberfläche liefern erstaunlicherweise keine besseren Ergebnisse als die Standardabweichung. In Sandri *et al.* (1996) sind eine ausführliche Beschreibung der Profilmetermessungen

und der Vergleich mit der vorhandenen Literatur zu finden.

## Disposition der Feldversuche

Die Messungen der Saatbettfeinheiten erfolgten auf fünf verschiedenen mittelschweren bis schweren Böden nach Bearbeitung mit Zinkenrotor, Kreiselegge und Federzinkenegge. Die genaue Anordnung der Versuche ist in Anken *et al.* (1996) beschrieben. Der Vergleich von Siebanalyse, Bildanalyse und Rauigkeitsmessung erfolgte für alle drei Verfahren auf denselben Probeflächen, die je eine Fläche von 30 x 50 cm besaßen.

## Gute Übereinstimmungen

Die Bildanalyse und die Siebanalyse korrelieren trotz etlicher Streufaktoren in gu-

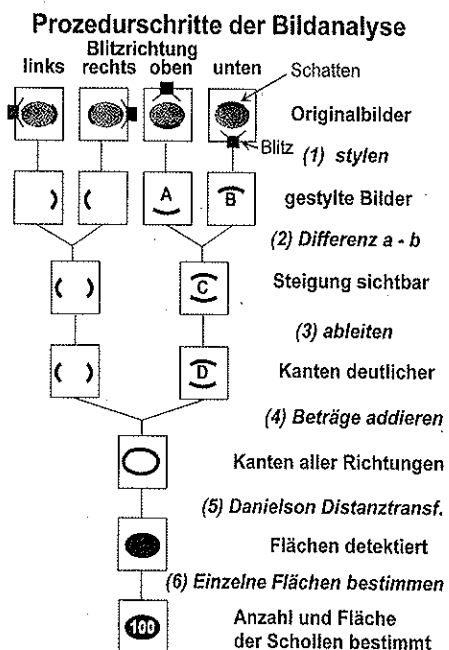


Abb. 2. Digitale Bildanalyse: Schematischer Programmablauf der Bestimmung der Anzahl und Fläche der Schollen einer Probefläche.

## Prozedurschritte der Bildanalyse (Abb. 2)

Umwandeln des Graustufenbildes in ein Schwarz-Weiss-Rasterbild zum Hervorheben der Kanten. Der Grenzwert, über dem alle Bildpunkte die Farbe weiss und unter dem sie die Farbe schwarz zugeordnet erhielten, wurde für jede Bildserie individuell festgelegt. Das anschliessende Kombinieren zweier Bilder erfolgt durch das Ermitteln der Differenz der beiden Bilder nach der Formel  $C(i;j) = A(i;j) - B(i;j)$ . Berechnen der ersten Ableitung nach der Formel  $D(i;j) = C(i;j) - C(i+1;j)$  was die Kanten der Schollen deutlicher hervorhebt. Die Addition der zwei verbleibenden Bilder fasst die Kanten aller Richtungen in einem Bild zusammen. Die Danielson-Distanztransformation nach Kübler (1993) detektiert die einzelnen Flächen. Jeder Scholle wird anschliessend eine Nummer zugeordnet, welche auch auf alle der zu ihr gehörenden Punkte übertragen wird. Es verbleibt anschliessend nur noch das Ausmessen der einzelnen Flächen, was sich leicht durch das Auszählen der Anzahl Punkte mit derselben Nummer erledigen lässt. Schollen kleiner als 5 mm erfasste die Bildanalyse nur zum Teil. Die gesamte nicht durch Schollen abgedeckte Fläche erhielt einen Durchmesser von 1,25 mm zugeordnet. Die Berechnung des  $GMD_{Bild}$  der Bildanalyse erfolgte analog zur Bestimmung des  $GMD_{Sieb}$  der Siebanalyse, nur dass statt der Gewichte der Durchmesser der als kreisförmig angenommenen Schollen benutzt wurde.

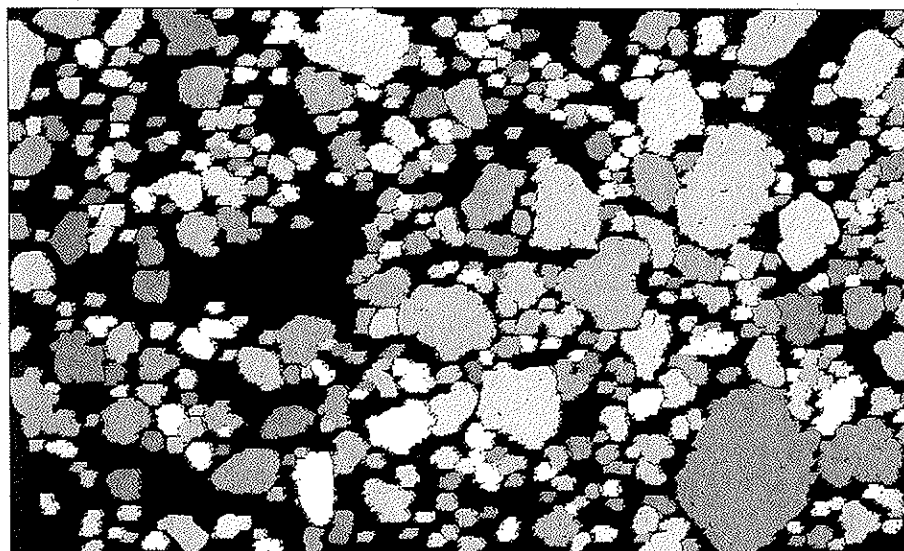


Abb. 4. Bodenoberfläche eines Saatbetts: Oben, Originalaufnahme; unten, durch digitale Bildanalyse detektierte Schollen.

### Technische Daten des Profilmeters

Laser:	Entfernungsmessgerät (Sick), Typ: DME 2000, Grundgenauigkeit $\pm 1$ mm
Schrittmotor:	5-Phasen (Berger-Lahr), Typ: VRDM 60
Schrittmotorsteuerung:	Low-Cost Positioniersystem (Bachofen-AG), Typ: FOE 102
Mech. Positionierung:	Zahnriemengetriebener Schlitten (System Phönix)
Stromversorgung:	2 Stück wartungsfreie Blei-Akku (YUASA), Typ: NP 12-12

Tab. 1. Regressionsgleichungen der verschiedenen Erhebungsarten der Saatbettfeinheit

Beziehung	Standorte	R <sup>2</sup> <sup>1)</sup>	Regressionsgleichung
Siebanalyse - Bildanalyse	5	0,81**	Sieb <sub>GMD</sub> = 3,9 + 1,0* Bild <sub>GMD</sub>
Siebanalyse - Rauzigkeit	5	0,64**	Sieb <sub>GMD</sub> = -4,0 + 1,9* Profil <sub>Std.abw.</sub>
Bildanalyse - Rauzigkeit	5	0,77**	Bild <sub>GMD</sub> = -5,8 + 1,66* Profil <sub>Std.abw.</sub>
Siebanalyse - Schollen > 40 mm <sub>Feld</sub>	2	0,53**	Sieb <sub>GMD</sub> = 11,7 + 0,80* Schollen > 40 <sub>Feld</sub>
Bildanalyse - Schollen > 40 mm <sub>Bild</sub>	5	0,88**	Bild <sub>GMD</sub> = 6,8 + 1,1* Schollen > 40 <sub>Bild</sub>

<sup>1)</sup> Das Bestimmtheitsmass R<sup>2</sup> bestimmt den Anteil der Streuung der gemessenen Werte, welcher durch die Regressionsgleichung erklärt werden kann. 0 = 0 % ; 1 = 100 % der Streuung können erklärt werden.

tem Masse (Abb. 5). Aumüller-Gruber (1993) fand eine hohe Übereinstimmung zwischen den Flächen einzelner Schollen und deren Volumen. Dies trifft nach unseren Untersuchungen nicht nur für einzelne Schollen, sondern zugleich auch für die Bewertung eines Saatbetts zu. Die Informationen der Bodenoberfläche lassen sich also zur Bestimmung der Saatbettfeinheit verwenden.

Die Rauzigkeit weist zur Siebanalyse eine weniger enge Beziehung als die Bildanalyse auf (Tab. 1). Die Rauzigkeit erfasst ebenfalls die Eindrücke und Verformungen der Packerwalze, welche zum Beispiel Schollen in die Bodenoberfläche hineindrückt. Dies führt im Vergleich zur Sieb- und der Bildanalyse zu einer gewissen Verfälschung. Trotzdem lässt sich klar sagen, dass ein gröberes Saatbett auch eine erhöhte Rauzigkeit und infolgedessen eine kleinere Erosionsanfälligkeit aufweist.

### Saatbettfeinheitsbestimmung für Praktiker

Die Siebanalyse lässt sich durch die Anzahl Schollen, die grösser als 40 mm sind, befriedigend ausdrücken (Bestimmtheitsmass 53 %). Diese Anzahl Schollen lässt sich in der Praxis mit dem Doppelmeter und einem Fünfliber (Fünflibertest) einfach auszählen. Obwohl keine sehr hohe Übereinstimmung mit der Siebanalyse besteht, genügt diese Genauigkeit für die ungefähre Feinheitbestimmung in der Praxis.

Eine wesentlich engere Beziehung weisen die Anzahl Schollen grösser 40 mm auf, ermittelt mit der Bildanalyse, und der GMD der Bildanalyse (R<sup>2</sup> = 0,88). Dieses hohe Bestimmtheitsmass ist darauf zurückzuführen, dass sich bei der Bestimmung der beiden Parameter mit derselben Methode etliche Streufaktoren ausschalten lassen.

### Folgerungen

- Die Bildanalyse korreliert gut mit der Siebanalyse. Die optische Beurteilung der Bodenoberfläche genügt demzufolge für die Beurteilung der Saatbettfeinheit.
- Je gröber ein Saatbett, desto höher ist dessen Rauzigkeit. Dies vermindert die Gefahr von Verschlämmungen und Erosion.
- Richtige Saatbettfeinheit: Auf einer Fläche von 40 x 60 cm sollten 15 bis 25 Schollen mit einem Durchmesser grösser

# Übereinstimmung: Bildanalyse -> Siebanalyse

$$\text{Sieb [GMD]} = 3.9 + 1.0 \cdot \text{Bild [GMD]}$$

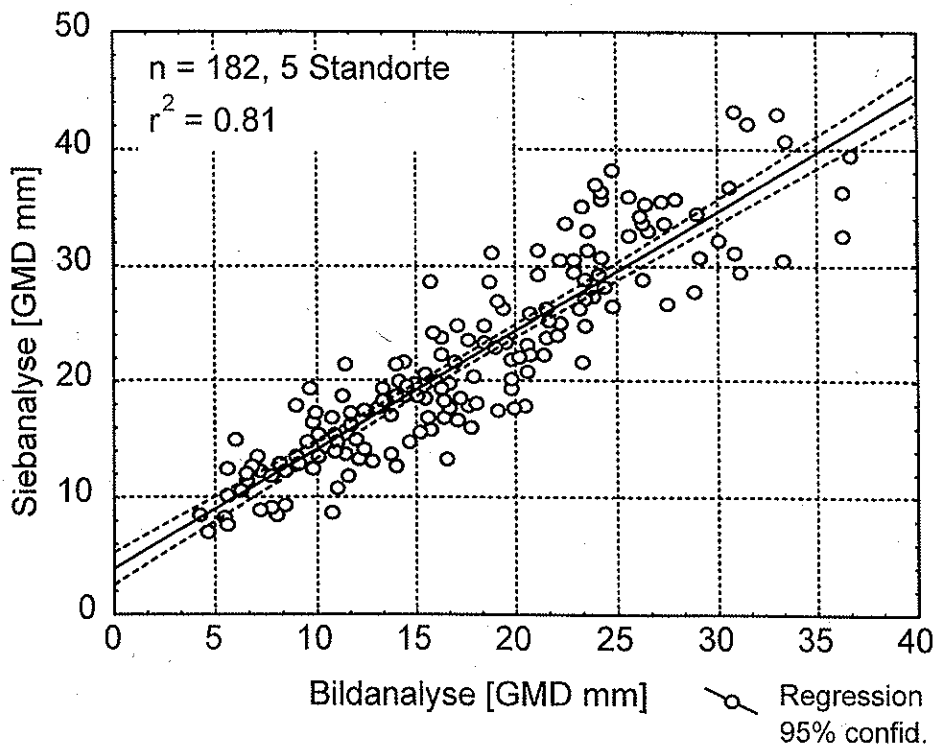


Abb. 5. Die Regressionsgerade zwischen der Siebanalyse [GMD] und der Bildanalyse [GMD] erklärt 81 % der Streuung der gemessenen Werte.

als 4 cm zu finden sein, was sich mit Doppelmeter und Fünfliber überprüfen lässt. Das Saatbett ist zu fein, wenn kaum mehr Schollen über 4 cm vorhanden sind, und zu grob, wenn viele Schollen über 10 cm Durchmesser die Saat stark behindern würden. Kulturansprüche und Bodenverhältnisse sind ebenfalls zu berücksichtigen.

Sturny (1990) und Anken *et al.* (1996) belegen, dass ein grobes Saatbett nicht zu einem Minderertrag führt. Somit verursachen zu intensiv eingestellte, zapfwellengetriebene Eggen häufig hohe Kosten und Schäden an der Bodenstruktur.

## LITERATUR

Anken T., Hilfiker T., Sandri R. und Sartori L., 1996. Saatbettbereitung - Feines Saatbett: Hoher Energiebedarf und Feldaufgang aber kein Mehrertrag bei Winterweizen. FAT-Bericht 484, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik Tänikon. 12 S.

Aumüller-Gruber C., 1993. Bildverarbeitung zur Bewertung der Zerkleinerungswirkung von Bodenbearbeitungsmassnahmen. *Landtechnik* 1/2, 40-41.

Kemper W. D. und Rosenau R. C., 1986. Aggregate Stability and Size Distribution. In *Methods of Soil Science of America Part I Physical and mineralogi-*

cal Methods Agronomy Monograph no 9, 2nd edition, 425-443.

Kübler O., 1993. Skript «Bildverarbeitung und Computervision II». ETH Zürich, 72 S.

Rüttimann M., Schaub D., Prasuhn V. und Rüegg W., 1995. Measurement of runoff and soil erosion on regularly cultivated fields in Switzerland - some critical considerations. *Catena* 25, 127-139.

Sandri R., Anken T. e Sartori L., 1996. Analisi delle metodologie per il rilevamento e la valutazione della scabrosità superficiale del terreno agrario. *Rivista di Ingegneria Agraria*. Im Druck.

Sturny W. G., 1990. Saatbettbereitung - grob oder fein? FAT-Bericht Nr. 392.

## RÉSUMÉ

### Traitement digital des images et profilomètre pour déterminer la finesse du lit de semences

L'analyse par tamisage, méthode qui exige beaucoup de travail, est le procédé standard pour déterminer la finesse du lit de semences. Le traitement digital des images et le profilomètre, deux nouveaux procédés développés par la Station fédérale de recherches en économie et technologie agricole de Tänikon (FAT), fournissent des résultats comparables à ceux obtenus par tamisage. Les données relatives à la surface du sol permettent d'évaluer l'état du lit de

semences jusqu'à une profondeur de 5 cm. Le «test de la pièce de cinq francs», déduit du traitement digital des images, est une méthode simple pour déterminer la finesse du lit de semences dans la pratique.

## SUMMARY

### Digital image analysis and profile meter for defining seedbed fineness

The labour-intensive sieve analysis is the standard method used for defining seedbed fineness. The Swiss Federal Research Station for Agricultural Economics and Engineering (FAT) has developed two new methods, i.e. digital image analysis and profile metering, whose results compare with those provided by the sieve analysis. Information on the soil surface allows the seedbed fineness to a depth of 5 cm to be assessed. The «five-franc-piece test», deriving from the image analysis, is a simple method for defining seedbed fineness in practice.

**KEY WORDS:** image analysis, profile meter, clod, seedbed, fineness