

## Entwicklung eines Bildverarbeitungsalgorithmus zur automatischen Detektion von Wurzeln in schwarz-weiss Minirhizotron-Bildern

Daniel Sachse<sup>1</sup>, Martin Weigert<sup>1</sup>, Maik Veste<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik, Großenhainer Str. 57, 01968 Senftenberg

<sup>2</sup> CEBra - Centrum für Energietechnologie Brandenburg, Friedlieb-Runge-Strasse 3, 03046 Cottbus

Email: maik.veste@me.com

**Zusammenfassung:** In den letzten Jahrzehnten wurde die Minirhizotrontechnik entwickelt, die eine nichtdestruktive Beobachtung von Pflanzenwurzeln über einen längeren Zeitraum ermöglicht. Durch die Bildverarbeitungssoftware wird es ermöglicht, Bilder automatisch zu verarbeiten, um die gewünschten Eigenschaften der Wurzeln (z.B. Länge, Breite, Fläche) zu ermitteln. Hierfür müssen die Pflanzenwurzeln in den Bildern von der Software erkannt werden. Mit Hilfe einer Schwarzweiss-Kamera wurden Wurzelbilder im Boden aufgenommen. Um Inhomogenität in der Hintergrundbeleuchtung auszugleichen, wird der Hintergrund vom Wurzelbild subtrahiert. Die nächsten Schritte der Bildbearbeitung umfassen die Objekt/Hintergrundtrennung und die Segmentierung des Binärbildes. Nach der Segmentierung können nun auch die Merkmale der einzelnen Segmente bestimmt werden. Der helligkeitsbasierte Bildverarbeitungsalgorithmus erzielt im Bereich der Wurzelerkennung bereits relativ gute Ergebnisse. Eine weitere Optimierung ist notwendig, um die Genauigkeit zu erhöhen.

**Deskriptoren:** Minirhizotron, Bildverarbeitung, Objekterkennung, Wurzeln

**Abstract:** *In recent decades the minirhizotron technique has been developed, which enables a non-destructive observation of plant roots for a prolonged period of time. By image processing software, it is possible to process images automatically and to detect the root characteristics (for example, length, width, area). For this purpose, the plant roots must be recognized in the images by the software. Using a black and white camera pictures were taken root in the soil. To compensate for inhomogeneity in the back-lighting, the background is subtracted from the root image. The next steps of image processing include the object / background separation and segmentation of the binary image. After segmentation, the features of the individual segments can now be determined. The brightness-based image processing algorithm achieved for root detection already relatively good results. A further optimization is necessary to increase accuracy.*

**Keywords:** minirhizotron, imaging, object detection, roots

## 1 Einleitung

Für die Untersuchungen des Wurzelwachstums wurden in den vergangenen Jahren verschiedene Minirhizotronsysteme entwickelt, die eine ungestörte Beobachtung der Feinwurzeln ermöglichen (VESTE 2012). Um die Präzision der Wurzelaufnahmen zu erhöhen und die Arbeitsabläufe bei der Bildaufnahme zu optimieren, wurde ein automatisches Minirhizotronsysteem entwickelt (VESTE *et al.* 2013), dessen CCD-Fingerkamera (**Bild 1**) mit Hilfe einer computer-gesteuerten Führung in der Glasröhre positioniert wird. Die erzeugten Einzelbilder werden zu einem Gesamtbild zusammengesetzt. So kann eine voll-automatische Bilderfassung verwirklicht werden. Allerdings steht für die Bildauswertung und Detektion der Wurzeln keine Software zur Verfügung, die eine voll-automatische Wurzelerkennung ermöglicht, so dass die Bilder manuell durch einen Betrachter ausgewertet werden müssen (VESTE 2012). Verschiedene Ansätze für eine automatische Detektion von Wurzeln wurden entwickelt (JANKOWSKI *et al.* 1995, ERZ *et al.* 2006, ZENG *et al.* 2008, VESTE 2010), aber in der Praxis nicht realisiert.



**Bild 1:** Schwarzweiss-Fingerkamera mit Spiegel und indirekter Beleuchtung zu Beobachtung von Wurzeln in Minirhizotronen.

## 2 Entwicklung eines Bildverarbeitungsalgorithmus

Für das automatische Minirhizotronsysteem ist es deshalb notwendig einen Bildverarbeitungsalgorithmus notwendig, der es ermöglicht, aus schwarz-weiß Bildern Wurzeln automatisch zu erkennen, um deren Merkmale zu bestimmen. Das Signal der CCD-

Kamera wird über einen USB-Video-Konverter in ein digitales Bild umgewandelt und auf einem Laptop als Bilddatei (JPEG) gespeichert.



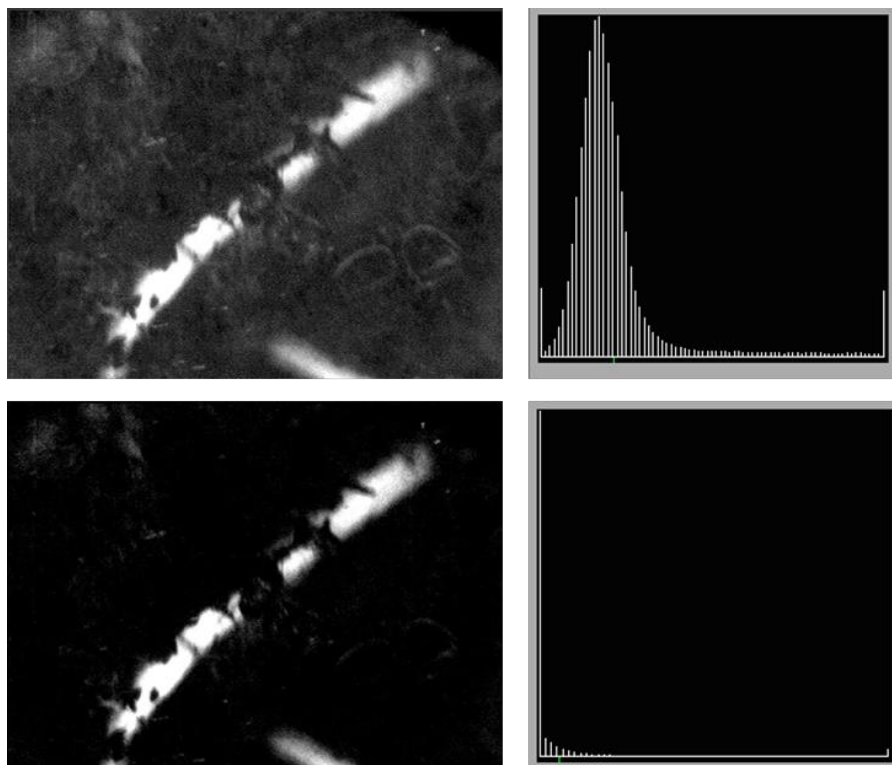
**Bild 2:** Grauwert Bild einer Wurzel aufgenommen mit einer SW-Fingerkamera

In **Bild 2** ist ein Testbild zu sehen, welches das CCD-Kamerasystem liefert. Es handelt sich hierbei um ein Grauwertbild mit den Abmessung 768x576 Pixel. Die Bittiefe des Bildes beträgt 24 Bit und die horizontale sowie vertikale Auflösung liegt bei 96dpi. Das Bild wird indirekt durch mehrere LEDs, welche ringförmig um die Kamera montiert sind, beleuchtet.

### 3 Hintergrundverbesserung

Allerdings wird durch die Anordnung von Spiegel zu Kamera und Beleuchtung das Bild nicht gleichmäßig belichtet. Zu dem ist eine Reflexion in der Röhre nicht auszuschließen und erschwert zusätzlich eine gleichmäßige Beleuchtung des Bildes. Da der Bildverarbeitungsalgorithmus vor allem auf der Helligkeit basiert, muss eine im ersten Schritt eine Verbesserung des Hintergrundes durchgeführt werden, um das Ergebnis des Algorithmus zu verbessern. Diese Inhomogenität in der Hintergrundbeleuchtung wird durch die Subtraktion eines Dunkelbildes verbessert, das in einem dunklen homogenen Umfeld erstellt wird und nur die unregelmäßige Kamerabeleuchtung auf dem Bild abbildet. Aus fünf Bildern wurde ein Medianbild erstellt, um eventuell auftretende Fremdstörungen auszuschließen. Im nächsten Schritt der Hintergrundverbesserung wird nun das Dunkelbild vom Eingabebild subtrahiert. Dabei bestehen zwei Varianten zur Verfügungen: (I) Subtraktion mittels Offset und (II) Subtraktion mittels Beitragsbildung. Bei der Variante mittels Offset wird das Subtraktionsergebnis mit dem maximalen Grauwert  $(255)/2$  addiert, so dass sich die meisten Grauwerte um 128 liegen. Bei der Beitragsbildung werden die die Grauwerte nicht um einen Offset verschoben, so dass die Mehrzahl der Grauwerte im unteren Bereich der Grauwerte liegen. Feine Strukturen im Hintergrund sind bei dieser Variante nicht mehr erkennbar.

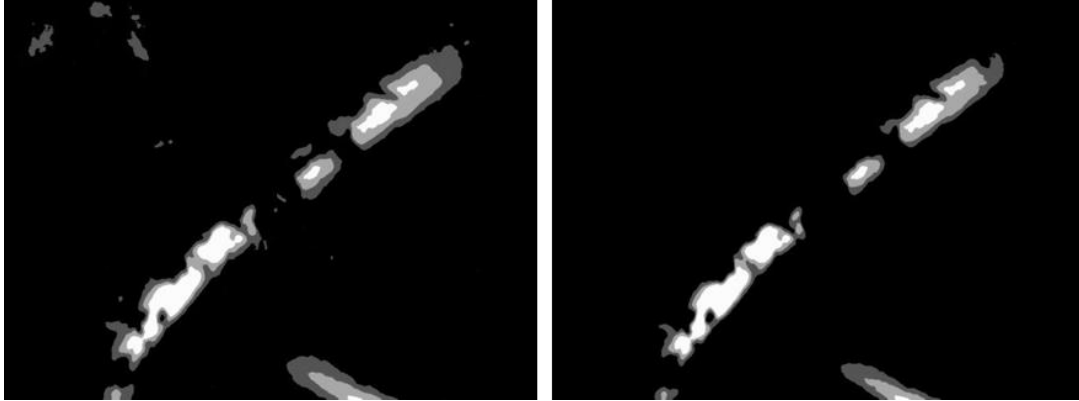
#### 4 Objekt/Hintergrundtrennung



**Bild 3:** Lineare Verteilung mit Histogramm der Variante I (a) und der Variante II (b)

Der nächste Schritt befasst sich mit der Trennung von Objekt und Hintergrund. Ziel ist es, das Bild so zu binarisieren, dass der Hintergrund schwarz (0) und die gesuchten Objekte weiß (255) sind, so dass es möglichst ist das Bild zu segmentieren. Nach der Subtraktion der zwei Bilder folgt die Kontrastanhebung der Bilder. Diese ist bei einem Helligkeitsbasierten Verfahren sehr wichtig, da sich alle folgenden Verfahren auf die Helligkeit der Grauwerte stützen. Diese Kontrastanhebung erreicht man mittels der linearen Streckung oder Verteilung. Da bei einer linearen Verteilung immer zwei Schwellen angegeben werden müssen, welche den zu streckenden Bereich abgrenzen, müssen diese automatisch bestimmt werden. Im Histogramm wird die jeweilige relative Häufigkeit der Grauwerte berechnet, die als Entscheidungsmerkmal sich anbieten. Ein großer Nachteil der linearen Verteilung ist, dass Störungen und Kamerarauschen auch verstärkt werden. Nach mehreren Versuchsreihen wurde ins relative Häufigkeit von 0,001 für die Bestimmung der Grauwertschwellen ermittelt. In **Bild 3a** ist das linear gestreckte Bild der Variante I zu sehen. Der Kontrast wurde erheblich gesteigert und die Strukturen des Bodens sind noch deutlicher erkennbar. Nachteil des Verfahrens ist die Verstärkung des Kamerarauschens. **Bild 3b** zeigt ein linear gestreckte Bild nach Variante II, dessen Ergebnis bereits sehr nahe am gewünschten Ziel, der eindeutigen Trennung von Hintergrund zu Objekt, liegt. Die lineare Verteilung hat allerdings bei diesem Beispiel im oberen linken Teil des Bildes Störungen bzw. Grauwerte des Bildes ver-

stärkt. Hierbei handelt es sich offensichtlich um die Struktur des Hintergrundes. Durch eine Zusammenfassung von Grauwerten kann eine Reduktion der Anzahl der Störungen erzielt werden. Grauwertbereiche werden zu Stufen zusammengefasst, welche alle denselben Wert haben. Dieses Verfahren nennt man Äquidensitenfilterung und wurde ausgewählt, da es völlig automatisch ablaufen kann.



**Bild 4:** Glättung mit Rangordnungsfiler der Variante I (a) und der Variante II (b)

Durch die Verwendung von Rangordnungsfiler, die sehr häufig für die Unterdrückung von Bildrauschen verwendet werden, können die Störungen im Hintergrund weiter verringert, um eine möglichst saubere Trennung von Objekt zu Hintergrund zu erreichen.

Nach mehreren Tests mit verschiedenen Rangordnungsfilern und verschiedenen Fenstergrößen sind in **Bild 4** die besten Ergebnisse zu sehen. In beiden Fällen handelt es sich hier um eine Fenstergröße von 7x7 und einen Median Filter. Denn je größer die



**Bild 5:** Binarisiertes Bild der Variante I (a) und der Variante II (b)

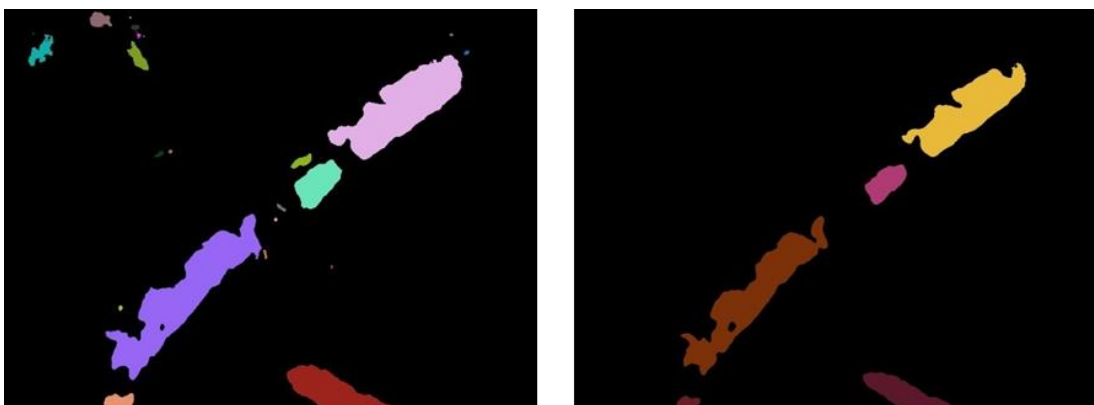
Fenstergröße gewählt wird, umso mehr Nachbarpixel werden verwendet, um den Wert des aktuellen Pixels zu verändern. Ist die Fenstergröße also relativ groß, ist es wahrscheinlicher, dass Störungen oder Rauschen verschwinden. Außerdem wird das Bild stärker geglättet, je größer das Fenster ist. Der letzte Schritt zur Trennung von Objekt

und Hintergrund ist die Binarisierung (Bild 5). Die Binarisierung muss erfolgen, damit eine Segmentierung mittels Zeilenkoinzidenzverfahren möglich ist.

## 5 Segmentierung des Binärbildes

Die Segmentierung ist der erste Schritt bei der Analyse des Bildes. Unter einer Segmentierung versteht man die Zuordnung eines Pixels zu einem Segment. Zusammenhängende Segmente können auch als Objekte beschrieben werden. Ist jeder Pixel mindestens einem Segment zugeordnet, spricht man von einer vollständigen Segmentierung. Die automatische Segmentierung kann in folgende drei Verfahren unterteilt werden: das pixel-, kanten-, und regionenorientierte Verfahren. Bevor die Merkmale der Objekte aus den Bildern berechnet werden können, ist eine Segmentierung des Bildes notwendig. Das zuvor binarisierte Bild wird mittels Zeilenkoinzidenzverfahren segmentiert. Bei diesem Verfahren wird das Bild Zeile für Zeile abgearbeitet und dabei jeder Pixel einem Segment zugeordnet. Diese Zuordnung kann in 4er oder 8er Nachbarschaft erfolgen. Bei einer 4er Nachbarschaft entscheiden der darüber gelegene und der links gelegene Pixel über die Angehörigkeit zu einem bestimmten Segment. Bei der 8er Nachbarschaft kommt der Pixel diagonal links oben dazu. Das Ergebnis dieses Verfahrens ist also die Anzahl der gefundenen Regionen, die dazugehörigen Ortspunkte sowie eine Liste aller Bildpunkte der jeweiligen Regionen.

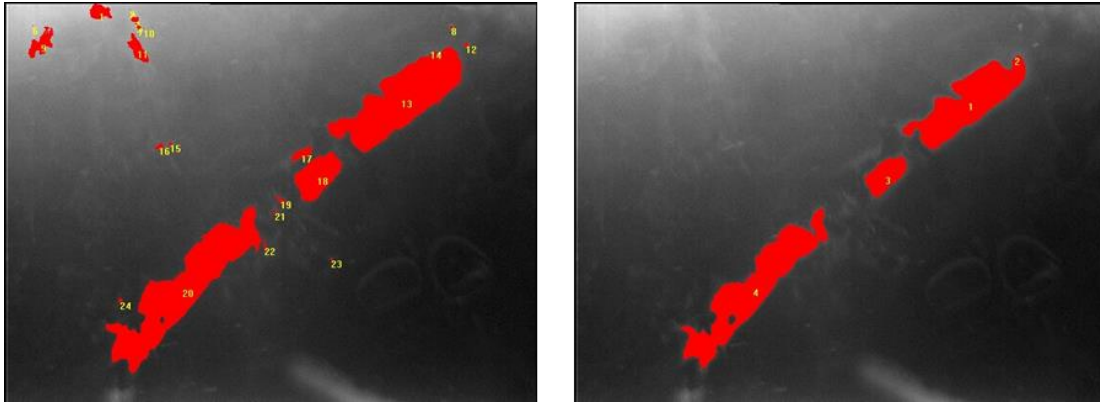
Die folgenden Abbildungen zeigen nun die segmentierten Bilder in einer Falschfarbendarstellung. Bild 6 zeigt jeweils die Segmentierung auf Grund einer 8er Nachbarschaft. Die 8er Nachbarschaft hat den Vorteil, dass Bildpunkte zu einem Segment dazugehören, selbst wenn die Pixel diagonal zueinander liegen. Dadurch entstehen größere und zusammenhängendere Objekte.



**Bild 6:** Segmentierung Variante I (a)  
und Variante II (b)

In der Versuchsreihe der Variante I (Bild 7a) wurden 26 Segmente erkannt und in Variante II sind es 6 Segmente (Bild 7b). Das liegt daran, dass alle weißen Bildpunkte des Bildes als ein Objekt angesehen werden. Bei der Binarisierung des Bildes der Ver-

suchsreihe 1 sind deutlich mehr Störungen im Hintergrund geblieben, welche nun als Objekte erkannt werden. Diese Störungen könnte man bei einer späteren Auswertung der Merkmale, beispielsweise über die Objektfläche, ausschließen. Bei der Versuchsreihe 2 wurden nur 6 Objekte erkannt. Hier waren nach der Binarisierung keine Störungen mehr vorhanden, sondern nur noch die Wurzel.



**Bild 7:** Identifizierte Segmente im Bild der Variante I (a) und der Variante II (b)

## 6 Merkmalsextraktion

Nach der Segmentierung können nun auch die Merkmale der einzelnen Segmente bestimmt werden. Für den Vergleich der beiden hier beschriebenen Varianten wurden die folgenden Merkmale ausgewählt und bestimmt: die Gesamtfläche, der Umfang, die maximale X-Ausdehnung und die maximale Y-Ausdehnung.

**Bild 7a** zeigt nun alle Objekte der Variante I, von denen Merkmale bestimmt werden konnten. Objekte, welche den Rand berühren, werden im Testprogramm vernachlässigt, da es sich hierbei nicht um vollständige Objekte handelt. Von zwei Objekten wurden im diesem Fall keine Merkmale bestimmt, da es sich bei diesen um Randsegmente handelte. Es wurden also von insgesamt 24 Objekten die Merkmale bestimmt. Die Gesamtfläche der Wurzel würde bei dieser Variante 29443 Pixel betragen. Zusätzlich sind 6 kleine Störungen (Fläche 1-10 Pixel), 11 mittlere Störungen (11-100) und 3 (101-775) große Störungen im Bild vorhanden. Die letzteren Störungen machen es sehr schwer, die richtigen Objekte als Wurzel zu betrachten. Man könnte zwar Störungen auf unterschiedliche Art und Weise über die Merkmale herausfiltern, geht aber gleichzeitig das Risiko ein, relevante Bereiche mit auszuschließen. Beispielsweise wäre es möglich, Störungen, welche unterhalb einer bestimmten Fläche liegen, zu ignorieren. In diesem Beispiel müsste dieser Wert bei 776 liegen, um alle Störungen herauszufiltern. Dies würde aber dazu führen, dass Objekt 17, welches zur Wurzel gehört, ebenfalls vernachlässigt wird und in der Gesamtheit fehlt. Mithilfe der Variante II sind, wie in **Bild 7b** zu sehen, ausschließlich Objekte der Wurzel erkannt worden. Hier wurden somit durch die Bildvorverarbeitung alle Störungen im Bild ausgeschlossen, was den großen Vorteil mit sich bringt, dass keine Daten von Störungen mit in eine Statistik eingehen. Diese Vari-

ante ist also, was die Störungen im Bild anbelangt, besser als Variante I. Die Gesamtfläche der Wurzel dieser Variante beträgt 22716 Pixel, was jedoch im Vergleich zu Variante I ca. 22,85% weniger Pixel bedeutet. Das könnte eine Abweichung zur realen Wurzel darstellen. Wie groß diese Abweichungen zu den realen Wurzeln sind, muss durch Vergleichsmessungen allerdings noch ermittelt werden.

## 7 Fazit und Ausblick

Der helligkeitsbasierte Bildverarbeitungsalgorithmus erzielt im Bereich der Wurzelerkennung bereits relativ gute Ergebnisse. Die beiden miteinander verglichenen Varianten liefern relativ ähnliche Ergebnisse. In Variante I sind zwar mehr Störungen vor der Segmentierung vorhanden, aber dafür ist die Wurzel scheinbar ohne große Verluste erkannt worden. In der vorgestellten Variante verblieben so gut wie keine Störungen im Bild. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, parallel zu dem helligkeits-basierten Verfahren ein kantenorientiertes Verfahren zu entwickeln und die Ergebnisse beider Verfahren zu verknüpfen. Ein kantenorientiertes Verfahren muss auch dann hinzugezogen werden, wenn das „Versuchserdreich“ eine ähnliche Farbgebung wie die Wurzeln aufweist, da helligkeitsbasierte System an seine Grenzen stößt, da Wurzel und Hintergrund sehr ähnliche Grauwerte besitzen. In diesem Fall wird es sehr schwierig brauchbare Ergebnisse zu erlangen. Um auch diesem Problem entgegen zu wirken, wird eine Weiterentwicklung des bestehenden Kamerasystems vorgenommen. Der Einsatz einer Farbkamera eröffnet neue Möglichkeiten für einen Bildverarbeitungsalgorithmus. Es ist mithilfe von Farbbildern möglich, Farbkanäle einzeln zu betrachten oder über die Farbe bestimmte Objekte im Bild von einer Analyse auszuschließen. Gleichzeitig wird auch die Beleuchtung der Kamera optimiert, um eine inhomogene Ausleuchtung des Bildes vorzubeugen.

## Danksagung

Die Entwicklung der automatischen Minirhizotron-Anlage wurde mit dem Großen Innovationsgutschein des Landes Brandenburg finanziell unterstützt. Wir danken der Firma Umweltanalytische Produkte GmbH, Cottbus für die Kooperation.

## Literaturverzeichnis

**ERZ G., VESTE M., ANLAUF H., BRECKLE S.-W., POSCH S. (2005):** A region and contour based technique for automatic detection of roots of tomatoes in minirhizotron images. Applied Botany and Food Quality 79: 83-88

**JANKOWSKI M., BRECKLE S.-W., SAGERER G., POSCH S., VESTE M. (1995):** Automatische Detektion von Wurzelsystemen in Minirhizotron-Bildern. In: SAGERER G., POSCH S., KUMMERT F. (Hrsg.): Mustererkennung 1995. Informatik aktuell. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 176-185

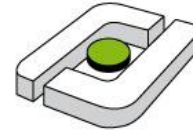


- VESTE M. (2010):** Anwendung automatischer Verfahren zur Erfassung von Wurzeln in Minirhizotron-Bildern. Bornimer Agrartechnische Berichte 73: 72-78
- VESTE M. (2012):** Anwendung von optischen Messsystemen zur nicht-destruktiven Erfassung von Wurzeln im Boden. Bornimer Agrartechnische Berichte 78: 81-89
- VESTE M., SCHÄFER H.-P., HARMS J., KAST G. (2013):** Ein neues computergesteuertes Minirhizotron-System zur Erfassung von Wurzeln. Bornimer Agrartechnische Berichte 81: 295-301
- ZENG G., BIRCHFIELD S.T., WELLS C.E. (2008):** Automatic discrimination of fine roots in minirhizotron images. New Phytologist, 177: 549–557



**ATB**

Leibniz-Institut für Agrartechnik  
Potsdam-Bornim e.V.



**Hochschule Osnabrück**  
University of Applied Sciences

## 20. Workshop Computer-Bildanalyse und Sensorik in der Landwirtschaft

26. Mai 2014, Osnabrück



Labor für  
Biosystemtechnik

**Bornimer Agrartechnische Berichte**

Vorläufige Version Teil I

Potsdam-Bornim / Osnabrück 2014