

Einsatz der Fourier Transformation zur Verbesserung der Klassifikationsgenauigkeit von teilschlagspezifischen Pflanzenschäden in Zuckerrübenflächen

KERSTIN VOß & GUNTER MENZ, Bonn

Keywords: Remote Sensing, classification, Fourier transformation, precision farming

Zusammenfassung: Innerhalb des Precision Farming gewinnen Fernerkundungsdaten bei der Erfassung von teilschlagspezifischen Informationen eine immer größere Bedeutung. Zur Erkennung und Identifizierung von Nematodennestern in Zuckerrübenflächen bietet sich daher der Einsatz von räumlich hoch auflösenden Color Infrarot (CIR) Luftbildern zur Ableitung von thematischen Befallskarten an. Am Beispiel eines Testgebietes werden die Probleme und Potentiale bei der Erstellung von Befallskarten auf der Grundlage von CIR-Luftbildern exemplarisch aufgezeigt. Besonderes Augenmerk liegt auf der Fast-Fourier-Transformation (FFT) zur Verbesserung des Klassifikationsergebnisses.

Summary: *Application of the Fast-Fourier-Transformation for the improvement of the classification accuracy of site-specific plant damage in sugar beet.* Recently the acceptance of remote sensing to gather information for Precision Farming applications increases. Due to the different reflection behavior of healthy and attaint sugar beets, it is possible to use color infrared aerial photographs (CIR) for the identification of infestation nests. For the optimal use of the CIR aerial images in agricultural practice a compilation into digital thematic maps is necessary. The study pointed out the problems and the potentials by the production of infestation maps using CIR images. Special attention lies on the Fast-Fourier-Transformation (FFT) for the improvement of the classification result.

1 Einleitung

Im Zuge des Wandels der konventionellen Landwirtschaft hin zu einer präzisen Bewirtschaftung kommt der räumlich genauen Erfassung von teilschlagspezifischen Pflanzenschäden eine immer größere Bedeutung zu (EBEL & GRAFF 1994). Infolgedessen stellen Informationen über die Variabilität der Ackerschläge die wichtigste Voraussetzung zur Umsetzung einer präzisen Landwirtschaft dar. Die Tatsache, dass 85 % der landwirtschaftlichen Tätigkeiten einen Raumbegzug haben (Schmidt 2001), unterstreicht die Bedeutung räumlicher Informationen zur teilschlagspezifischen Heterogenität der landwirtschaftlichen Schläge.

Bei der Erfassung der teilschlagspezifischen Informationen gewinnt der Einsatz von Fernerkundungsdaten aufgrund der flächenhaften Abbildung der Erdoberfläche und der zunehmenden räumlichen und zeitlichen Auflösung stetig an Bedeutung. Der Beitrag der Fernerkundung innerhalb des Precision Farming wird als eine Art „*taktischer Feldinspektor*“ (KÜHBAUCH 2002) gesehen, da über die Auswertung von Fernerkundungsdaten Teilflächen mit abnormen Erscheinungsbildern oder die fortlaufende Ausbreitung von Krankheiten und Schädlingen detektiert werden können. Diese „abnormen“ Erscheinungen umfassen neben Unterschieden in der Bodenfruchtbarkeit und Bodenfeuchtigkeit, Trockenheitsschä-

den, Verunkrautungen auch Krankheits- und Schädlingsbefall. In zahlreichen aktuellen Studien wird die Möglichkeit der sensorgestützten Detektion von teilschlagspezifischem Pathogenbefall in Pflanzenbeständen und der darauf abgestimmte Einsatz von Fungiziden dargestellt (APAN et al. 2004, MOSHOU et al. 2004, FRANKE et al. 2005).

Ein schwerwiegender Schädling im Zuckerrübenanbau in Mitteleuropa ist die Zuckerrübenematode „*Heterodera schachtii*“. Hierbei handelt es sich um einen sedimentären Endoparasit, einen im Boden lebenden Fadenwurm. Dieser parasitiert an den Zuckerrübenwurzeln und tritt in ortsfesten Nestern auf. Äußerlich tritt der Nematodenbefall in einem Zuckerrübenfeld durch das nesterweise Welken der Zuckerrüben in Erscheinung. Zudem bleiben stark befallene Pflanzen in ihrer Entwicklung stark zurück, sie sind kleiner als nicht befallene Pflanzen und ihre Blätter weisen eine hellere Grünfärbung auf. Die Wurzeln der befallenen Zuckerrüben sind stark zurückgeblieben und weisen einen Wurzelbart durch Nebenwurzelbildung auf.

Aufgrund des unregelmäßigen Vorkommens der Nematoden in Zuckerrübenflächen, gestaltet sich die Erfassung des Befalls mit konventionellen Methoden der Bodenprobenentnahme und -auswertung als schwierig und zeitintensiv. Infolgedessen bietet sich zur Erkennung und Identifizierung der Nematodennester der Einsatz von räumlich hochauflösenden Color Infrarot (CIR) Luftbildern an, da die befallenen Pflanzen durch die veränderte Färbung ihrer Blätter ein verändertes Reflexionsverhalten besitzen. Beispielsweise führte der „Landwirtschaftliche Informationsdienst Zuckerrübe“ (LIZ) in Elsdorf flächendeckende CIR-Befliegungen im Rheinland zur Detektion von Nematodennestern durch.

Damit die, in den Luftbildern enthaltenen Informationen, in der Praxis optimal genutzt werden können, ist eine Aufbereitung der Luftbilder in digitale thematische Karten notwendig.

Die Zielsetzung dieses Aufsatzes ist es, anhand eines Testgebietes, die Probleme und Potentiale bei der Erstellung von *Heterode-*

ra-schachtii-Befallskarten auf der Grundlage von CIR-Luftbildern exemplarisch aufzuzeigen. Besonderes Augenmerk liegt auf der Fast-Fourier-Transformation (FFT) zur Verbesserung des erzielten Klassifikationsergebnisses.

2 Theoretische Grundlagen der Fourier Transformation

Die Theorie der Fourier Transformation geht auf JEAN-BAPTISTE JOSEPH FOURIER zurück. In seinem 1822 veröffentlichtem Buch „*Die analytische Theorie der Wärme*“ gelang ihm der Beweis, dass jede eindimensionale Funktion $f(x)$, durch die Summe unendlich vieler Sinus- und Kosinusfunktionen und die zugehörigen Koeffizienten dargestellt werden kann. Die Transformation von Signalen in den Frequenzbereich beruht somit auf der Zerlegung aller Signale in harmonische Bausteinsignale, die Elementarsignale.

Die Fouriertransformation stellt heute ein fundamentales Verfahren in der Signalverarbeitung dar. In der digitalen Bildverarbeitung wird die Fourier Transformation zur Reduzierung des Rauschens in zweidimensionalen Rasterbildern, wie z. B. durch unsystematische und systematische Sensor-Anomalien hervorgerufene Streifen in Satellitenbildszenen, eingesetzt. Der Vorteil der Transformation vom Orts- in den Frequenzraum liegt darin, dass viele Operationen innerhalb der digitalen Bildverbesserung im Frequenzraum leichter durchführbar sind als im Ortsraum.

Die in ERDAS IMAGINE (Version 8.7) implementierte Fast-Fourier-Transformation (FFT) ist eine eindeutige mathematische Transformation, bei der ein Rasterbild in seine Frequenzbestandteile umgewandelt wird, ohne dass Bildinformation verloren geht (JENSEN 1996). Die Fast-Fourier-Transformation spaltet dabei das Bild in zwei Bestandteile, die Magnitude und die Phase, auf. Während die Filteroperationen im Magnitudenbild durchgeführt werden, dient die Phaseinformationen zur Rücktransformation (Inverse Fast-Fourier-Transformation – IFFT) des gefilterten Bildes in den Ortsraum (RICHARDS 1993, BÄHR & VÖGTLE 1998, Erdas Inc. 1999).

3 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

Bei der Testfläche handelt es sich um eine Zuckerrübenfläche mit einer Größe von 8,45 ha. Räumlich befindet sich diese Fläche in der Niederrheinischen Bucht, nördlich der Gemeinde Rommerskirchen (vgl. Abb. 1).

Als Datengrundlage wurde ein multispektrales CIR-Luftbild mit drei Kanälen im Wellenlängenbereich zwischen 0,4 μm und 0,9 μm verwendet. Aufgenommen wurde dieses Bild am 15.08 2001 gegen 11.30 Uhr aus 3000 m Höhe. Die räumliche Auflösung beträgt 0,7 m (vgl. Tab. 1).

In Abb. 1 ist die Testfläche in Form eines Falschfarbenkomposits in der Kanalkombination 1/2/3 dargestellt. Bei dieser Kanalkombination erscheinen die gesunden Zuckerrübenflächen in roten Farbtönen, während die befallenen Zuckerrüben durch hellgrüne und hellblaue Farbtöne in Erscheinung treten. Die befallenen Bereiche können

Tab. 1: Technische Daten der CIR Luftbilder (Pfeifer & Langen).

Sensor	CCD Kamera
Aufnahmehöhe	3000 m über Grund
Zeitliche Auflösung	Variabel
Geometrische Auflösung	0,7 m
Spektrale Auflösung	Grün: 510–600 nm Rot: 630–690 nm NIR: 760–900 nm
Radiometrische Auflösung	8 Bit

somit, aufgrund der veränderten Reflexionseigenschaften der befallenen Zuckerrüben, bereits visuell gut von den gesunden und vitalen Zuckerrüben getrennt werden.

Zur Erfassung und zur Dokumentation des Nematodenvorkommens innerhalb der landwirtschaftlichen Fläche wurden Bo-

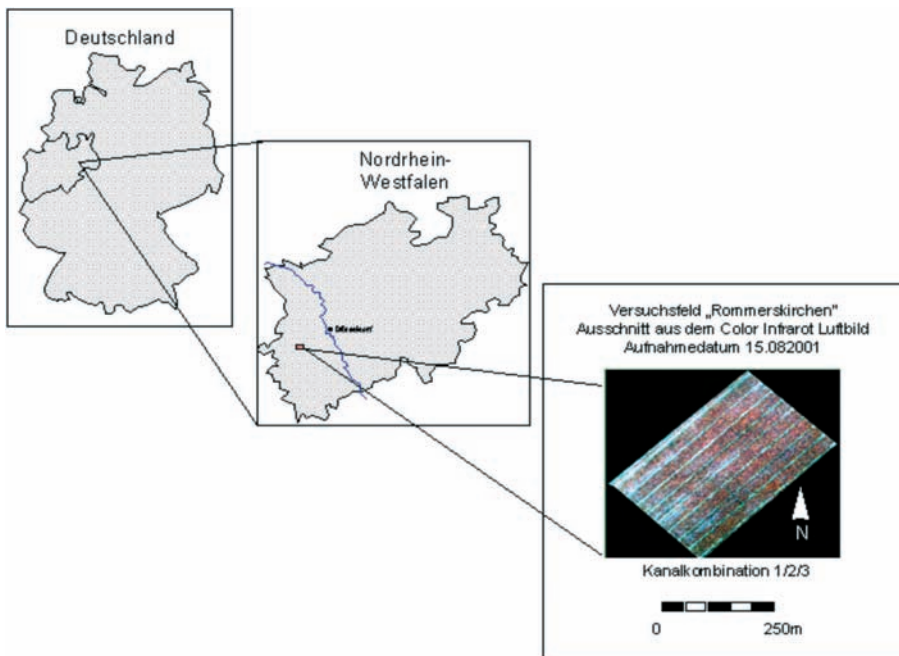


Abb. 1: Räumliche Lage des Untersuchungsgebietes „Rommerskirchen“ und seine Darstellung im CIR-Luftbild vom 15. 08. 2001 (Kanalkombination 1/2/3). *Quelle* Luftbild: Pfeifer & Langen, Werk Elsdorf.

denproben entnommen und die enthaltenen Eier und Larven pro 100 ml Boden gezählt. Die so gewonnenen Ground Truth Daten erlauben eine Aussage über die Intensität des Nematodenbefalls in der Testfläche. In den stark befallenen Teilbereichen des Zuckerrübenfeldes betrug die Anzahl der Eier und Larven 5247 pro 100 ml Boden, woraus eine Ertragseinbuße von 23% resultierte.

4 Methode

Die Beurteilung der Probleme und Potentiale von CIR-Luftbildern bei der Erstellung von Nematodenbefallskarten erfolgt auf der Grundlage folgender Hypothese:

1. Aus CIR Luftbildern können Nematodenbefallskarten über eine Maximum-Likelihood-Klassifikation abgeleitet werden.
2. Sind parallel verlaufende Fahrstreifen im Luftbild enthalten, so kann das Klassifikationsergebnis verbessert werden, wenn vor der Maximum-Likelihood-Klassifikation eine Fast-Fourier-Transformation durchgeführt wird.

Methodisch teilt sich die Studie daher in zwei Schwerpunkte auf:

1. Durchführung einer Maximum-Likelihood-Klassifikation zur Ableitung einer Nematodenbefallskarte.
2. Kombination der Maximum-Likelihood-Klassifikation mit einer Fourier Transformation zur Verbesserung der Qualität der Befallskarte.

Zur Datenauswertung wurde das Programmpaket ERDAS/IMAGINE (Version 8.7) verwendet.

4.1 Maximum-Likelihood-Klassifikation zur Ableitung einer Befallskarte

Zur Erzeugung einer digitalen Befallskarte des Versuchsfeldes wurde das Untersuchungsgebiet einer überwachten Maximum Likelihood Klassifikation, mit den drei visuell trennbaren Klassen „Zuckerrüben nicht befallen“, „Zuckerrüben befallen“ und

„*Fahrspur*“, unterzogen. Die Auswahl der Trainingsgebiete erfolgte unter den Gesichtspunkten der Homogenität, der Repräsentativität, der Trennbarkeit sowie einer ausreichenden Größe (CAMPBELL 1996, HILDEBRANDT 1996, LILLESAND & KIEFER 1999). Zur Gewährleistung einer hinreichenden Größe der Trainingsgebiete wurde eine Mindestgröße von 50 Pixeln ($\cong 35 \text{ m}^2$) festgelegt. Im Anschluss wurden die Signaturen der Trainingsgebiete auf ihre spektrale Verteilung im Scattergramm überprüft. Da die Klassifikation über eine überwachte Maximum-Likelihood-Klassifikation erfolgte, wurde insbesondere auf die Normalverteilung der Spektralwerte geachtet. Im Ergebnis erfüllten 23 Trainingsgebiete die aufgestellten Anforderungen. Zur Bewertung der einzelnen Signaturen wurden diese in Form der Ellipsendarstellung, mit dreifacher Standardabweichung, im Feature Space näher analysiert. Trotz der sehr sorgfältigen Auswahl der Trainingsgebiete bestehen zwischen den Trainingsgebieten der Klassen „Zuckerrüben befallen“ und „*Fahrspur*“ Überschneidungen, die im Klassifikationsergebnis zu deutlichen Fehlzusweisungen führten (vgl. Abb.2). Im Klassifikationsergebnis werden sowohl Bereiche mit der Landbedeckung „Zuckerrüben befallen“ als „*Fahrspur*“ klassifiziert als auch Fahrspuren als Zuckerrüben mit Nematodenbefall.

Die ähnlichen spektralen Signaturen der Landbedeckungen „*Fahrspur*“ und „Zuckerrüben befallen“ lassen sich durch den Welkprozess der befallenen Zuckerrüben erklären. Die Blätter der befallenen Pflanzen sind dadurch kleiner und hängen zu Boden. Dies hat zur Folge, dass Mischpixel entstehen, die sich aus den spektralen Signaturen der „befallenen Zuckerrüben“ und dem „Boden“ zusammensetzen.

Zur Bewertung der Klassifikationsgenauigkeit wurde das Klassifikationsergebnis einem „Accuracy Assessment“ mittels Zufallspunkten unterzogen. Hierzu wurden jeweils 100 zufällige Punkte gesetzt und deren wirkliche Landbedeckung anhand der Ground Truth Daten überprüft. Über die so erzeugte Error-Matrix wurde ein „Accuracy-Report“ abgeleitet. Die Gesamtgenauig-

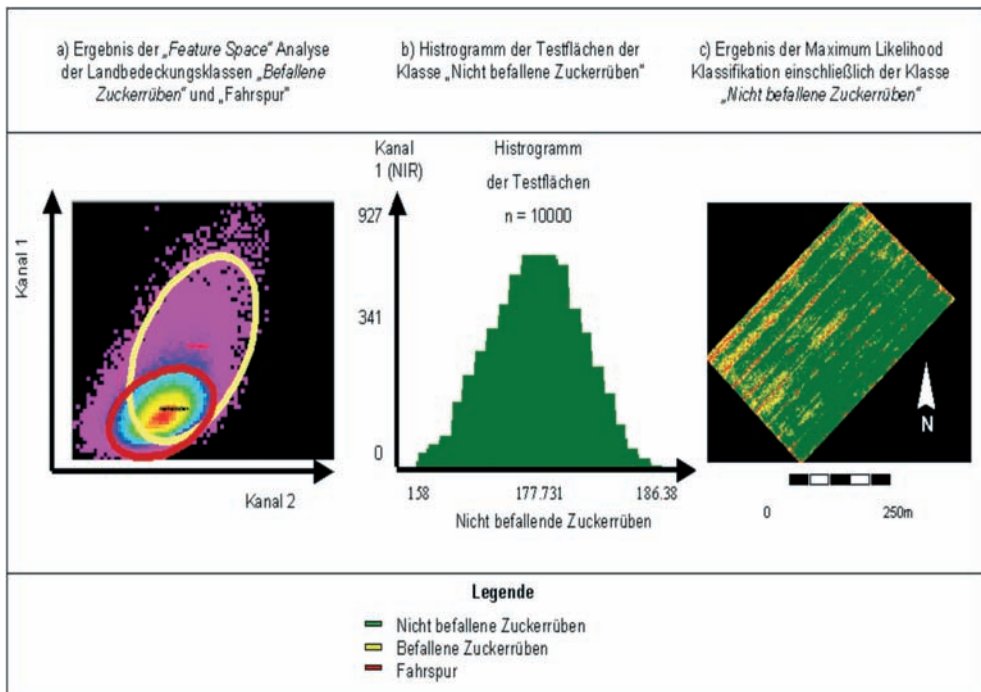


Abb. 2: Darstellung der spektralen Signaturen der Trainingsgebiete der Klassen „befallene Zuckerrüben“ & „Fahrspur“ im Feature Space sowie das Klassifikationsergebnis der Maximum-Likelihood-Klassifikation mit drei Landbedeckungsklassen. Quelle Luftbild: Pfeifer & Langen, Werk Elsdorf.

keit der Klassifikation beträgt 82%. Betrachtet man die Genauigkeit der einzelnen Klassen, so werden vor allem bei den beiden Landbedeckungsklassen „Zuckerrüben befallen“ und „Fahrspur“ deutlich geringere Genauigkeiten von 55% bzw. 57,44% erreicht (vgl. Tab. 2).

Tab. 2: Nutzergenauigkeit der überwachten Maximum-Likelihood-Klassifikation des Untersuchungsgebietes „Rommerskirchen“.

Landnutzungsklassen	Nutzergenauigkeit Klassifikation mit drei Klassen
Zuckerrüben nicht befallen	91,8%
Zuckerrüben befallen	55 %
Fahrspur	57,4%
Gesamtgenauigkeit	82 %

4.2 Fourier Transformation zur Verbesserung der Klassifikationsgenauigkeit

Die Erfassung der Landbedeckungsklasse „Fahrspur“ hat für die landwirtschaftliche Praxis keinen wirtschaftlichen Nutzen. Daher wurde der Maximum-Likelihood-Klassifikation eine Fast-Fourier-Transformation vorgeschaltet, um zu prüfen, ob die Landbedeckungsklasse „Fahrspur“ aus dem Bild herausgefiltert werden kann.

Damit sich der Anfangspunkt des Subsets in der oberen linken Ecken befindet und keine Pixel mit störenden Bildhintergrund in die Filterung eingeht, wurde das Ausgangsbild vor der Transformation um 44° in die Senkrechte gedreht. Durch die Fouriertransformation vom Orts- in den Frequenzraum wird dieser Anfangspunkt in den Mittelpunkt verschoben. Abb. 3 zeigt, dass das erzeugte „Fourier Magnitude Bild“ einen

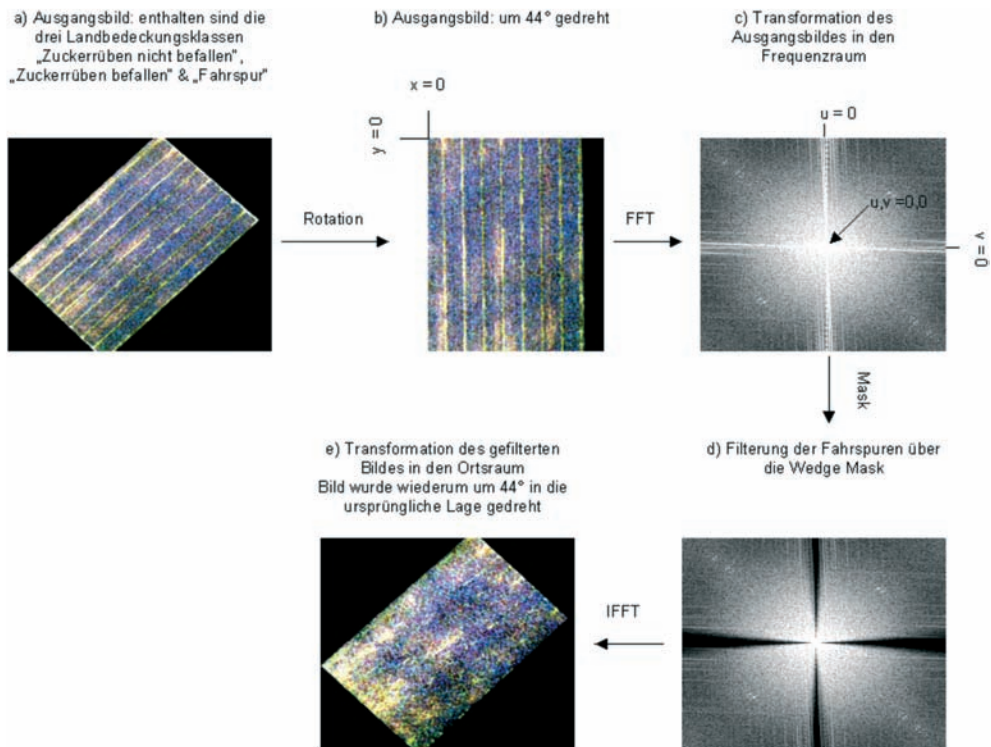


Abb. 3: Darstellung der Arbeitsschritte zur Eliminierung der Landbedeckungsklasse „Fahrspur“ aus dem Color Infrarot Luftbild. Quelle Luftbild: Pfeifer & Langen, Werk Elsdorf.

symmetrischen Aufbau um den Bildmittelpunkt mit den Koordinaten $u, v = 00$ aufweist (vgl. Abb. 3c). Um den Mittelpunkt des Fourier Bildes befinden sich die niedrigen Frequenzen, oder anders ausgedrückt jene Bildbereiche des Ortsbildes, wo über eine größere Pixeldistanz ein niedrigerer Unterschied in den Grauwerten besteht. Die Bereiche der höheren Frequenzen liegen weiter vom Mittelpunkt entfernt. Diese Bereiche sind durch einen größeren Unterschied in den Grauwerten auf kurzen Pixeldistanzen charakterisiert.

Durch die Transformation des Untersuchungsgebietes vom Ortsraum in den Frequenzraum erscheinen die im ursprünglichen Bild enthaltenen parallel verlaufenden Fahrspuren in Form von radialen, hellen Linien (vgl. Abb. 3c). Diese Linien konnten über die Funktion „Wedge Mask“, eine keilförmige Maskierung, zufrieden stellend aus dem Bild gefiltert werden. Durch die Filter-

operation erscheinen die maskierten Bereiche im „Frequenz Magnituden Bild“ schwarz (vgl. Abb. 3d). Anschließend wurde das Bild über die Inverse Fast-Fourier-Transformation (IFFT) aus dem Frequenzraum in den Ortsraum zurücktransferiert und in die ursprüngliche Lage gedreht. Das Ergebnis zeigt, dass durch die Filteroperation im Frequenzraum die Fahrstreifen aus dem Bild erfolgreich herausgefiltert werden konnten (vgl. Abb. 3e).

Im Anschluss wurde das gefilterte Bild einer überwachten Maximum Likelihood Klassifikation, nun mit den zwei Landbedeckungsklassen „Zuckerrüben befallen“ und „Zuckerrüben nicht befallen“, unterzogen. Diese beiden Klassen weisen aufgrund des Nematodenbefalls ein deutlich unterschiedliches spektrales Verhalten auf. Zur Überprüfung der Trennbarkeit der beiden Klassen wurde neben der Analyse im Feature Space auch das Trennbarkeitsmaß der

Tab. 3: Vergleich der Nutzergenauigkeit der Klassifikationsergebnisse vor und nach Durchlauf der Fast Fourier Transformation.

Landnutzungsklassen	Nutzergenauigkeit Klassifikation ohne vorhergehender Fourier Analyse mit drei Klassen (in %)	Nutzergenauigkeit Klassifikation mit vorhergehender Fourier Analyse mit zwei Klassen (in %)
Zuckerrüben nicht befallen	91,78	95,6
Zuckerrüben befallen	55,00	88,9
Fahrspur	57,44	
Gesamtgenauigkeit	82	95

Jeffries-Matusita-Distanz berechnet. Diese Trennbarkeitsanalyse verwendet zur Berechnung der Trennbarkeit sowohl die Mittelvektoren als auch die Kovarianzmatrix (RICHARDS 1993). Die Jeffries-Matusita-Distanz weist einen Wertebereich von 0 bis 1414 auf, wobei der Wert 0 eine Untrennbarkeit, der Wert 1414 eine maximale Trennbarkeit der spektralen Signaturen beschreibt. Für die beiden Landbedeckungsklassen „Zuckerrüben befallen“ und „Zuckerrüben nicht befallen“ wurde ein Wert von 1410 ermittelt.

Da keine Aussage darüber möglich ist, ob die Bereiche der Fahrspuren flächenmäßig der Klasse der „gesunden Zuckerrüben“ oder der „befallenen Zuckerrüben“ zugeordnet wurden, wurde im Anschluss an die Klassifikation ebenfalls eine Bewertung der Klassifikation mittels Zufallspunkten durchgeführt (s. o.). Die Nutzergenauigkeit für die beiden Klassen „Zuckerrüben nicht befallen“ und „Zuckerrüben befallen“ beträgt 95,5% bzw. 88,89% (vgl. Tab. 3). Der Vergleich mit der Klassifikation des ungefilterten Bildes zeigt somit eine deutlich bessere Erfassung der Nematodennester.

5 Fazit

Die Studie zeigt, dass durch eine der Maximum Likelihood Klassifikation vorgeschaltete Fourier-Transformation eine genauere Nematodenbefallskarte aus den CIR-Luftbildern abgeleitet werden kann, indem die „bedeutungslose“ Landbedeckungsklasse „Fahrspur“ aus dem Bild gefiltert wird. Die

erstellte Karte kann somit als verbesserte und detailliertere Grundlage für die teil-schlagspezifische Bekämpfung von Nematoden in Zuckerrübenflächen genutzt werden.

Danksagung

Die Studie ist im Rahmen des DFG-Graduiertenkollegs „Einsatz von Informationstechniken zur Präzisierung des Pflanzenschutzes auf landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Flächen“ entstanden. Die Luftbilder sowie Ground Truth Informationen über die Befallsdichte mit Nematoden wurden vom Landwirtschaftlichen Informationsdienst Zuckerrübe (LIZ) und dem Werk Pfeifer & Langen in Elsdorf (<http://www.liz-online.de/>) zur Verfügung gestellt.

Literatur

- APAN, A., HELD, A., PHINN, S. & MARKLEY, J., 2004: Detecting sugarcane 'orange rust' disease using EO-1 Hyperion hyperspectral imagery. – *International Journal of Remote Sensing*, **25**(2): 489–498.
- BÄHR, H.-P. & VÖGTLE, T., 1998: Digitale Bildverarbeitung – Anwendungen in Photogrammetrie, Kartographie und Fernerkundung. – 3. Aufl., 401 S., Wichmann Verlag, Heidelberg.
- CAMPBELL, J.B., 1996: Introduction to Remote Sensing. – 2. Aufl., 622 S., Guilford Press, London.
- EBEL, M. & GRAFF, M., 1994: Die Satellitendüngung kann sich rechnen. – *DLG-Mitteilungen*, 1994 (8): 37–39.
- Erdas Inc., 1999: The ERDAS Field Guide. – 5. Aufl., 672 S., Atlanta.

- FRANKE, J., MENZ, G., OERKE, E.-C. & RASCHER, U., 2005: Comparison of multi- and hyperspectral imaging data of leaf rust infected wheat plants. – Conference Proceedings of SPIE-European Remote Sensing Symposium, (5976–50): 1–11.
- HILDEBRANDT, G., 1996: Fernerkundung und Luftbildmessung für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. – 1. Aufl., 676 S., Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- JENSEN, J.R., 1996: Introductory digital image processing: A remote sensing perspective. – 2. Aufl., 318 S., Prentice-Hall, New Jersey.
- KÜHBAUCH, W., 2002: Fernerkundung – eine Zukunftstechnologie im Präzisionspflanzenbau. – In: WERNER, A. & JARFE, A. (Hrsg.): Precision Agriculture – Herausforderung an die integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. – KTBL Sonderveröffentlichung (038): 79–87.
- LILLESAND, T.M. & KIEFER, R.W., 1999: Remote sensing and image interpretation. – 4. Aufl., 736 S., John Wiley & Sons, New York.
- RICHARDS, J.A., 1993: Remote sensing digital image analysis. An introduction. – 3. Aufl., 334 S., Springer, Berlin.
- SCHMIDT, T., 2001: Geoinformationen – Digitale Geodaten, Fernerkundung, GPS und GIS – in der modernen Landwirtschaft. – 11. Internationale Geodätische Woche, 18.-24.02. 2001. Obergurgl, (abrufbar unter: <http://138.232.151.1/ifg/download/Schmidt.pdf>, letzter Zugriff 16.01. 2007).

Anschriften der Autoren:

Dr. KERSTIN VOß
Geographisches Institut, Universität Bonn
Meckenheimer Allee 166, 53115 Bonn
Tel.: 0228-73-9705, Fax: 0228-73-9702
e-mail: k.voss@geographie.uni-bonn.de

Prof. Dr. GUNTER MENZ
Tel.: 0228-73-9700, Fax: 0228-73-9702
e-mail: menz@rsrg.uni-bonn.de

Manuskript eingereicht: November 2006
Angenommen: Dezember 2006