

## Verfahren der Bildanalyse zur Unkrauterkenung in Getreide

*Procedures of image analysis for weed recognition in cereals*

Alexander Kluge & Henning Nordmeyer\*

Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland,

Messeweg 11-12, D-38104 Braunschweig

\*Korrespondierender Autor, [henning.nordmeyer@jki.bund.de](mailto:henning.nordmeyer@jki.bund.de)

DOI: 10.5073/jka.2012.434.029

### Zusammenfassung

Eine automatische Unkrauterkenung ist eine wichtige Voraussetzung für eine teilflächenspezifische Herbizidanwendung nach dem Schadensschwellenwertprinzip. Die Segmentierung, als Vorverarbeitungsschritt, erfolgt auf zwei- oder dreidimensionalen Bildern. Im nachgelagerten Schritt werden mit den Methoden des Graphen Matchings, Winkelmessungen innerhalb eines Blattes und des Template Matchings Pflanzen unterschieden. Untersucht wurden die Unkrautarten *Galium aparine* und *Veronica hederifolia*. Beim Verfahren des Graphen Matching wurden charakteristische Graphen gefunden, während beim Template Matching idealisierte Templates zur Verringerung des Suchraums erzeugt wurden. Mit dem Verfahren des Template Matchings wurden Erkennungsraten zwischen 72 und 83 % erzielt während bei der Winkelmessung ca. 91 % der Pflanzen erkannt wurden. Durch ein an die Erkennungsverfahren angepasstes wissensbasiertes System ist der Einsatz der Methoden in einem automatischen Unkrauterkenungssystem möglich.

**Stichwörter:** Bilderkennungsverfahren, *Galium aparine*, Matching-Verfahren, Precision farming, *Veronica hederifolia*, Winkelmessung, wissensbasierte Systeme

### Summary

An automatic weed recognition system is a prerequisite for site specific weed control when using weed threshold concepts. Segmentation, a preprocessing step, is applied to two- or three-dimensional images. In the following step, methods of graph matching, angular measurements within a leaf, and template matching were used to distinguish plants. The weed species *Galium aparine* and *Veronica hederifolia* were exemplary examined. In graph matching, typical graphs were identified and in template matching, idealized templates were constructed. The results of this exercise were used to reduce the dimension of the search-space. In the process of template matching, detection rates ranged from 72-83 %; a detection rate of about 91 % was found using angle measurements. Recognition procedures in a knowledge-based system enable using these methods in an automatic recognition system for weed recognition.

**Keywords:** *Galium aparine*, image recognition, knowledge-based methods, matching procedures, measuring angles, precision farming, *Veronica hederifolia*

### 1. Einleitung

Langjährige Untersuchungen von Unkrautpopulationen zeigten ein heterogenes Auftreten von Unkräutern auf Ackerflächen (HÄUSLER und NORDMEYER, 1999; OEBEL und GERHARDS, 2005; NORDMEYER, 2006). Durch eine darauf abgestimmte teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung auf der Grundlage des Schadensschwellenkonzepts (GEROWITT und HEITFUSS, 1990) kann der Herbizideinsatz vermindert werden. Die Höhe der Herbizidreduktion ist schlagbezogen unterschiedlich und zeigt in Einzelfällen Extremwerte von 0 bis 100 % (NORDMEYER und ZUK, 2002).

Für eine Teilflächenunkrautbekämpfung sind Kenntnisse über die Art, Dichte und räumliche Verteilung der Unkräuter erforderlich. Mit manuellen Verfahren durch Feldbegehung mit Unkrautzählung an Rasterpunkten ist keine wirtschaftliche Teilflächenunkrautbekämpfung in der landwirtschaftlichen Praxis möglich (OEBEL, 2006). Dazu bedarf es einer automatisierten Unkrauterkenung. Digitale Bilderkennungsverfahren sind in der Lage Unkrautarten, oder zumindest Gruppen von Unkrautarten, mit Hilfe verschiedener Charakteristiken (z.B. Ränder, Texturen, Farben und geometrische Merkmale) der Unkrautblätter zu differenzieren (HEMMING, 2000; PEREZ et al., 2000; JAFARI et al., 2006). Mit einem Bilderkennungsprogramm ist es folglich möglich, Unkräuter mit ausgewählten Bildverarbeitungsmethoden zu erkennen und Unkraut- bzw. Spritzkarten für die Herbizid-Applikation zu erstellen.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Bildaufnahme

Die Bilder, die für die nachfolgenden Schritte benötigt werden, wurden entweder mit einem digitalen Fotoapparat Canon PowerShot S70, einer Industriekamera mit CMOS-Technologie (Complementary Metal Oxide Semiconductor) oder CCD-Technologie (Charge-coupled Device) aufgenommen. Die Versuche wurden über einen Zeitraum von fünf Jahren in Winterweizen durchgeführt. In den Bildern kamen ausschließlich die Kulturpflanze, *Galium aparine* und *Veronica hederifolia* vor. Die Höhe der Kameras über dem Boden betrug 360 mm. Die Projektionsachse war in ihrer Ausrichtung orthogonal gegenüber dem Boden. Eine künstliche Beleuchtung war nicht vorhanden, sondern das natürliche Umgebungslicht wurde verwendet. Detailliertere Informationen zur Kamertechnologie finden sich in KLUGE und NORDMEYER (2009).

### 2.2 Segmentierung

Als Vorverarbeitungsschritt vor der Anwendung von Bilderkennungsverfahren ist es nötig, die Pflanzen bis auf Einzelpflanzenebene zu segmentieren. Bei sich nicht überlappenden Pflanzen erfolgt dies durch die Transformation des RGB-Farbraums des Originalbilds in den HSV-Farbraum mit zusätzlicher Abbildungsvorschrift, die den Farbtön "grün" ausschneidet:

$$f(x) := \begin{cases} x, & \text{falls } 90^\circ < H(x) < 150 \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

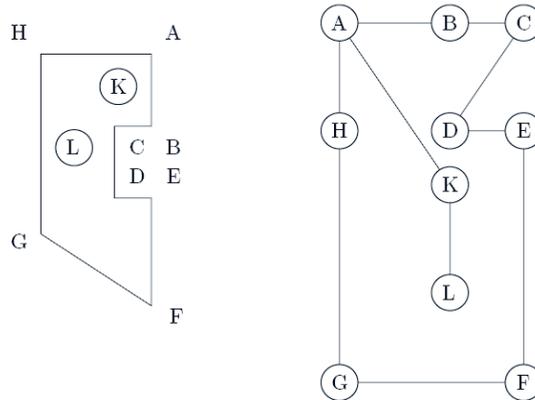
Die I- und V-Komponenten blieben bei den Grüntönen gleich, alle anderen Farbtöne wurden entfernt. Die Berechnung der Farbkomponente folgt der folgenden Vorschrift (TRAVIS, 1991):

$$H := \begin{cases} 0^\circ, & \text{falls } MAX = MIN \\ 60^\circ \cdot \left(0 + \frac{G-B}{MAX-MIN}\right), & \text{falls } MAX = R \\ 60^\circ \cdot \left(2 + \frac{B-R}{MAX-MIN}\right), & \text{falls } MAX = G \\ 60^\circ \cdot \left(4 + \frac{R-G}{MAX-MIN}\right), & \text{falls } MAX = B \end{cases}$$

Beim Überlappen von Pflanzenteilen muss die dritte Dimension berücksichtigt werden. Dies erfolgte durch die Bildaufnahme mit zwei Kameras gleicher Auflösung, die nebeneinander angeordnet waren, so dass mit Hilfe der Stereotriangulation die dritte Dimension errechnet werden konnte.

### 2.3 Graphen Matching

Unter Berücksichtigung markanter Punkte der Einzelpflanze lassen sich pflanzentypische Graphen erzeugen. Das Verfahren (YU und LIU, 2009) wird in Abbildung 1 demonstriert. Markante Punkte (K, L) bzw. Ecken (A-H) werden in einen Graphen überführt, der die Relationen, z.B. Entfernungen untereinander, beschreibt. Weist ein weiterer Graph dieselben Relationen auf, so wird angenommen, dass beide Objekte zur gleichen Klasse gehören.

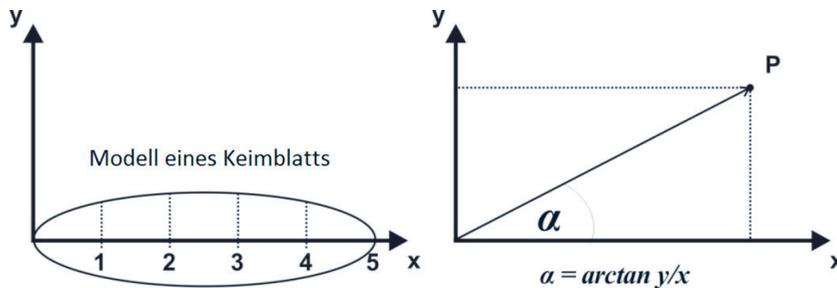


**Abb. 1** Objekt mit zugehörigem Relationsgraph.

**Fig. 1** Object and its graph of relations.

#### 2.4 Winkelmessung innerhalb einer Blattes

Die Methode unterscheidet zwischen den beiden Unkrautarten *Galium aparine* L. und *Veronica hederifolia* L., die im Keimblattstadium sehr ähnlich aussehen. Als Voraussetzung zur Anwendung dieser Methode müssen sich die Blätter wegen fehlender Invarianzeigenschaften in derselben, frei zu definierenden Lage befinden (KLUGE, 2011). Durch Berechnungen des Schwerpunkts und der Hue-Momente (HU, 1962) lässt sich eine Transformationsmatrix bestimmen, die diese Lage erzielt.



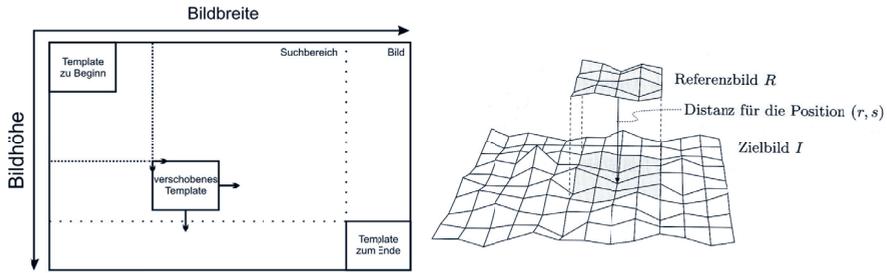
**Abb. 2** Einteilung und Winkelmessung an einem Modellblatt.

**Fig. 2** Arrangement and angular measurement of leaf pattern.

Das dann waagrecht vorliegende Blatt wird in mehrere gleichmäßige Teile zerlegt und die Winkel zwischen Ursprung des Koordinatensystems und des Blattrands für jedes Teilsegment berechnet (Abb. 2). Diese (fünf) Werte werden in einem zuvor trainierten Neuronalen Netz klassifiziert.

#### 2.5 Template Matching

Die Methode des Template Matchings (BURGER und BURGE, 2006) untersucht die Ähnlichkeit eines Referenzbildes mit einem ebenso großen Bildabschnitt. Mit Hilfe der mathematischen Faltung wird im Mittelpunkt des Templates ein neuer Punkt berechnet. Dessen Wert korreliert mit der Ähnlichkeit beider Teilbilder. Das Template wird über das ganze Bild verschoben und an jeder Stelle diese Berechnung durchgeführt (Abb. 3).



**Abb. 3** Bildverschiebung und Berechnungen im Template Matching-Verfahren.

**Fig. 3** Picture shifting and calculation in template matching.

Das Verfahren wurde zur Auffindung von *Galium aparine* konzipiert, so dass als Template, als charakteristisches Merkmal die Blattquirle von *Galium aparine* verwendet werden. Da die Pflanzen im Bild in keiner einheitlichen Richtung stehen, muss ein Template aus jeder möglichen Repräsentation verwendet werden.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Graphen Matching

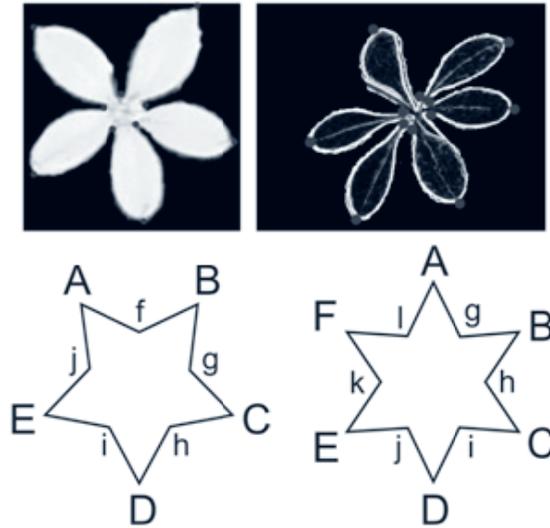
Für zweikeimblättrige Pflanzen im Keimblattstadium sieht der zugehörige Graph wie ein Rechteck aus (Abb. 4). Damit lassen sich zweikeimblättrige Pflanzen im Keimblattstadium von weiter entwickelten Pflanzen unterscheiden.



**Abb. 4** Zweikeimblättriges Unkraut im Keimblattstadium (links) mit zugehörigem Graphen (rechts).

**Fig. 4** Dicotyledonous weed plant in the cotyledon growth stage (left) and its representational graph (right).

Für Pflanzen, die über das Keimblattstadium hinaus gewachsen sind, ändern sich die Graphen wie für *Galium aparine* in Abbildung 5 zu sehen ist.



**Abb. 5** Binärbilder (erster Blattquirl) von 5- bzw. 6-blättrigem *Galium aparine* (oben) und die jeweils zugehörigen Graphen (unten).

**Fig. 5** Binary images (first leaf whorl) of 5- respectively 6-leaved *Galium aparine* (top) and the related graphs (bottom).

Für *Matricaria*-Arten wurde ein charakteristischer Graph gefunden, der in Abbildung 6 gezeigt wird.



**Abb. 6** Binärbild (links) und Graph von *Matricaria*-Arten (rechts).

**Fig. 6** Binary image (left) and its graph of *Matricaria* species (right).

In einer formalen Logik lassen sich auf Grund dieser Graphen Trennungen zwischen ein- und zweikeimblättrigen Pflanzen im Keimblattstadium sowie *Galium aparine* und *Matricaria*-Arten im ersten Laubblattstadium unterscheiden.

### 3.2 Winkelmessung innerhalb eines Blattes

Für die Unkrautart *Veronica hederifolia* wurden die in Tabelle 1 aufgeführten Messwerte ermittelt. Diese sind von der ersten bis zur letzten Messstelle stetig fallend.

Für *Galium aparine* (Tab. 2) ist dieser Effekt ebenfalls zu beobachten, jedoch weisen die Winkel einen steileren Verlauf auf. Die Standardabweichung der Winkel mit ca. 6 Grad und 3 Grad führt in beiden Fällen zur Überschneidung der Wertebereiche, so dass ein Künstliches Neuronales Netz die Entscheidung treffen musste. Damit gelang es eine korrekte Unterscheidung der Pflanzen bei *Galium aparine* von 93,4 % und bei *Veronica hederifolia* von 90,0 % zu erreichen.

**Tab. 1** Errechnete Winkel an den Stützstellen (*Veronica hederifolia*), n = 40.

**Tab. 1** Calculated angles at the nodes (*Veronica hederifolia*), n = 40.

<i>Veronica hederifolia</i>	Messpunkte [Winkel in Grad]				
	1	2	3	4	5
Mittelwert	61,823	47,111	33,758	21,747	0
Standardabweichung	5,833	4,656	5,145	4,466	0
Varianz	34,027	21,683	26,471	19,9462	0
Maximum	68,198	54,246	42,797	29,054	0
Minimum	49,398	39,805	27,512	15,708	0

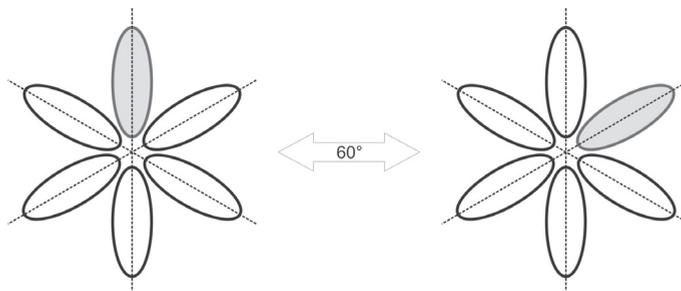
**Tab. 2** Errechnete Winkel an den Stützstellen (*Galium aparine*), n = 40.

**Tab. 2** Calculated angles at the nodes (*Galium aparine*), n = 40.

<i>Galium aparine</i>	Messpunkte [Winkel in Grad]				
	1	2	3	4	5
Mittelwert	57,605	40,290	27,587	18,416	0
Standardabweichung	3,213	3,712	3,109	2,530	0
Varianz	10,323	13,786	9,671	6,403	0
Maximum	63,434	47,489	33,023	21,689	0
Minimum	52,125	30,256	20,323	12,804	0

### 3.3 Template Matching

Mit Pflanzen im Keimblattstadium konnten mit dem Verfahren keine hinreichend gute Unterscheidungen durchgeführt werden. Durch die Beschränkung auf das besondere Merkmal des Blattquirls von *Galium aparine* konnte eine Erkennungsrate zwischen den beiden Gruppen "*Galium aparine*" und "andere Pflanzen" von 72 bis 83 % erzielt werden. Durch die hohe Rechenlast des Verfahrens ist eine Reduktion des Aufwands nötig. Es wurde herausgefunden, dass durch Ausnutzen von Symmetrieeigenschaften 97 % der möglichen Fälle nicht untersucht werden müssen.



**Abb. 7** Symmetrieeigenschaften im Blattquirl von *Galium aparine*.

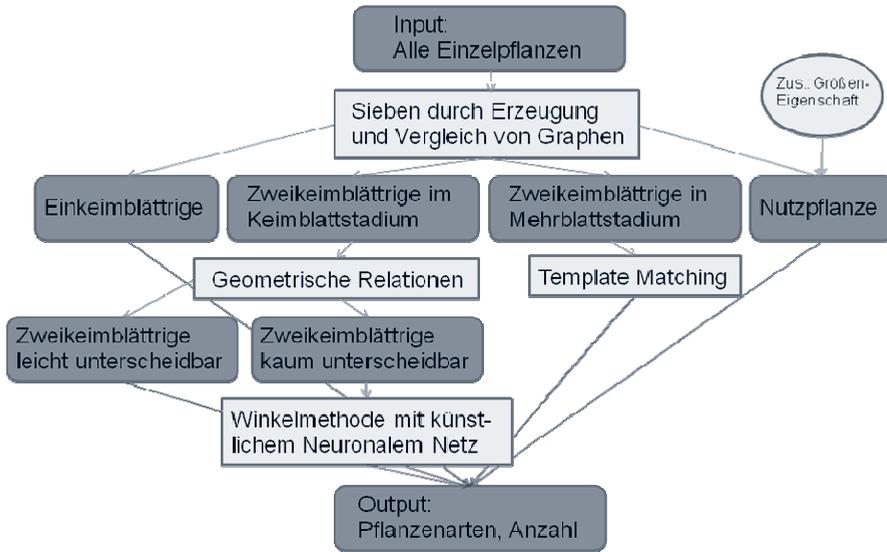
**Fig. 7** Symmetry features at leaf whorl of *Galium aparine*.

Somit reduzieren sich die Templates von 360 auf 10 Stück. In Abbildung 7 sieht man, dass bei einem sechsblättrigen Quirl nach einer 60° Drehung das Template wieder dem ursprünglichen Template

entspricht. Außerdem zeigte sich, dass die Anwendung des Verfahrens mit einem solch idealisierten Modellblatt genügt, um die gewonnene Erkennungsrate zu erzielen.

### 3.4 Wissensbasiertes System

Die Verfahren zur Unkrautererkennung sind auf eng begrenzte Umgebungsparameter spezialisiert, so dass ein wissensbasiertes System die Auswahl der geeigneten Methode vollziehen muss. In Abbildung 8 ist das entsprechende System dargestellt.



**Abb. 8** Wissensbasiertes System zur Auswahl einer geeigneten Erkennungsmethode.

**Fig. 8** Knowledge-based system for choosing the best recognition approach.

Durch die Methode des Graphenvergleichs wird eine Selektion in ein- und zweikeimblättrige Unkräuter im Keimblattstadium, zweikeimblättrige Unkräuter im Mehrblattstadium und der Nutzpflanze vorgenommen. Die zweikeimblättrigen Unkräuter werden im Keimblattstadium durch die Winkelmessung und im Mehrblattstadium durch das Template Matching unterschieden.

### 4. Diskussion

Die Qualität der Segmentierung von Pflanzen hat einen direkten Einfluss auf die nachgelagerten Prozesse der Bildererkennung. Damit ist es nötig, dass diese korrekt funktioniert. Im zweidimensionalen Fall kann dies nur unter bestimmten Umständen gewährleistet werden, so dass eine dreidimensionale Segmentierung nötig ist. Diese ist rechenaufwändig, ermöglicht aber die Segmentierung auch bei überlappenden Pflanzen.

Die beschriebenen Verfahren des Graphen Matchings, der Winkelmessung innerhalb eines Blatts und des Template Matchings führen in den entsprechenden Einsatzgebieten zu hohen Erkennungsraten, die insbesondere bei Unkrautarten mit einem niedrigen Schadenschwellenwert (z.B. *Galium aparine*) von hoher Bedeutung sind. Durch ihre Spezialisierung und auf Grund des geplanten Einsatzes in einem einheitlichen Erkennungssystem muss ein wissensbasiertes System zur Wahl der geeigneten Methode eingesetzt werden.

Basierend auf den aus diesen Verfahren gewonnenen Daten können Herbizidmaßnahmen abgeleitet werden.

### Literatur

BURGER, W. UND M. J. BURGE, 2006: DIGITALE BILDVERARBEITUNG - EINE EINFÜHRUNG MIT JAVA UND IMAGEJ. SPRINGER-VERLAG.

- GEROWITT, B. UND R. HEITFUSS, 1990: WEED ECONOMIC THRESHOLDS IN THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY. CROP PROTECTION **9**, 323 – 331.
- HÄUSLER, A. UND H. NORDMEYER, 1999: CHARACTERIZING SPATIAL AND TEMPORAL DYNAMICS OF WEED SEEDLING POPULATIONS. IN: PROCEEDINGS 2ND EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, PP. 463 – 472. SHEFFIELD ACADEMIC PRESS.
- HEMMING, J., 2000: COMPUTER VISION FOR IDENTIFYING WEEDS IN CROPS. DISSERTATION, UNIVERSITÄT HANNOVER.
- HU, M. K., 1962: VISUAL PATTERN RECOGNITION BY MOMENT INVARIANTS. IRE TRANS. INFO. THEORY **8**, 179 – 187.
- JAFARI, A., S. S. MOHTASEBI, H. E. JAHROMI UND M. O MID, 2006: WEED DETECTION IN SUGAR BEET FIELDS USING MACHINE VISION. INTERNATIONAL JOURNAL OF AGRICULTURE AND BIOLOGY **8**, 602 – 605.
- KLUGE, A. UND H. NORDMEYER, 2009: AUTOMATED WEED DETECTION IN WINTER WHEAT BY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS. PRECISION AGRICULTURE **10**, 321 – 327.
- KLUGE, A., 2011: METHODEN ZUR AUTOMATISCHEN UNKRAUTERKENNUNG FÜR DIE PROZESSSTEUERUNG VON HERBIZIDMAßNAHMEN. DISSERTATION, TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG.
- OEBEL, H. UND R. GERHARDS, 2005: SITE-SPECIFIC WEED CONTROL USING DIGITAL IMAGE ANALYSIS AND GEOREFERENCED APPLICATION MAPS: ON-FARM EXPERIENCES. IN: STAFFORD, J. (HRSG.): PRECISION AGRICULTURE. PP. 231 – 238. ACADEMIC PUBLISHERS, WAGENINGEN.
- OEBEL, H., 2006: TEILSCHLAGSPEZIFISCHE UNKRAUTBEKÄMPFUNG DURCH RAUMBEZOGENE BILDVERARBEITUNG IM OFFLINE- (UND ONLINE-) VERFAHREN. DISSERTATION, UNIVERSITÄT HOHENHEIM.
- PEREZ, A. J., F. LOPEZ, J. V. BENLLOCH UND S. CHRISTENSEN, 2000: COLOUR AND SHAPE ANALYSIS TECHNIQUES FOR WEED DETECTION IN CEREAL FIELDS. COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE **25**, 197 – 212.
- NORDMEYER, H. UND A. ZUK, 2002: TEILFLÄCHENUNKRAUTBEKÄMPFUNG IN WINTERWEIZEN. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XVIII**, 459 – 466.
- NORDMEYER, H., 2006: PATCHY WEED DISTRIBUTION AND SITE-SPECIFIC WEED CONTROL IN WINTER CEREALS. IN: STAFFORD, J. (HRSG.): PRECISION AGRICULTURE. PP. 219 – 231. ACADEMIC PUBLISHERS, WAGENINGEN.
- TRAVIS, D., 1991: EFFECTIVE COLOR DISPLAYS. THEORY AND PRACTICE. ACADEMIC PRESS.
- YU, Q. R. UND G. LIU, 2009: GRAPH FACTORS AND MATCHING EXTENSIONS. SPRINGER VERLAG.