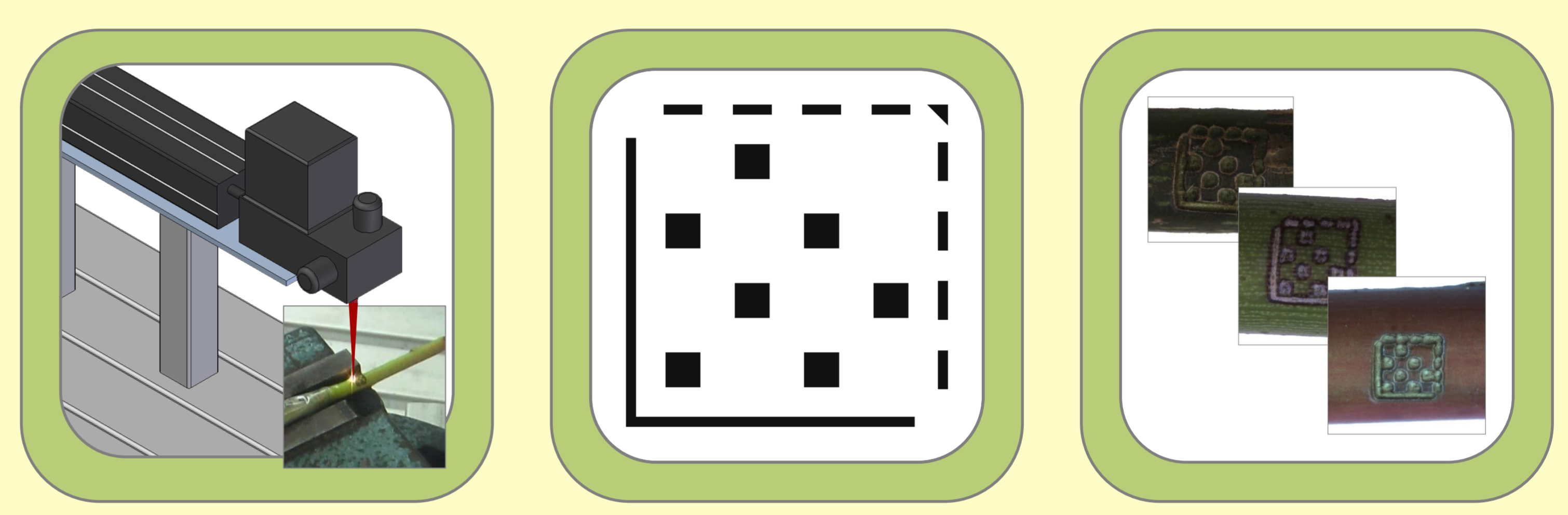


Problemstellung und Zielsetzung

Im Gartenbau wird hohe Produktsicherheit durch Fälschungssicherheit und Rückverfolgbarkeit gewährleistet. Aufkleber oder Etiketten an Erzeugnissen erfüllen höchste Ansprüche jedoch nicht. Alternativ ermöglicht das Aufbringen von verschlüsselten Mustern direkt auf der Epidermis mittels Laser eine untrennbare Markierung, die Produktionsdaten und Produkt miteinander verknüpft. Eine praxisgerechte Entschlüsselung kann indes nur durch automatische Erkennung auf Basis von Bildverarbeitung erfolgen. Ein Verfahren zur Erkennung von lasermarkierten Mustern auf Gartenbauprodukten liegt weltweit nicht vor. Ziel dieser Arbeit war es daher, ein Prototypsystem zum Auslesen der verschlüsselten Muster zu entwickeln.

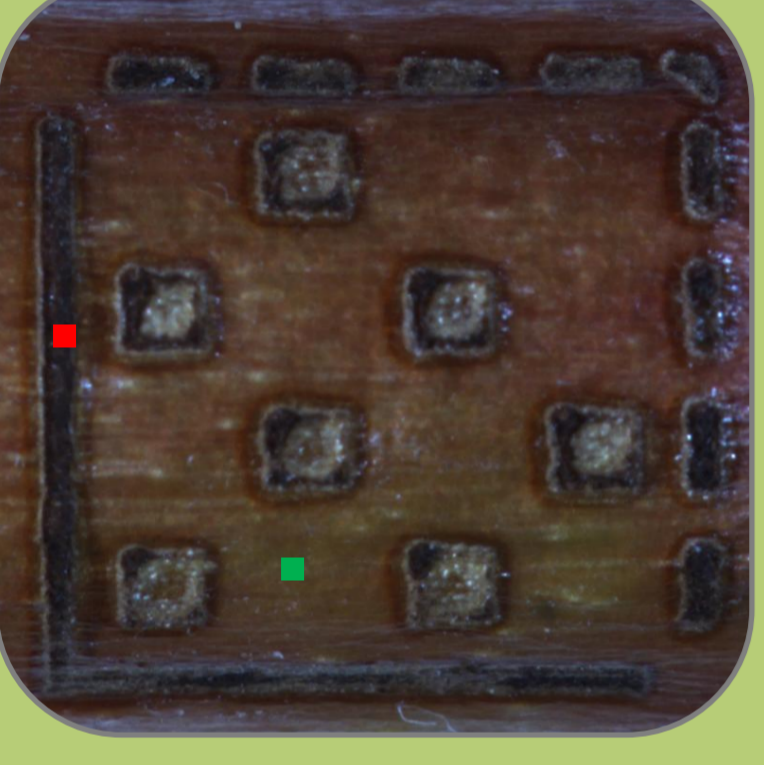
Material und Methoden

Die Markierung wurde in Form eines 7bit-Musters plus Orientierungsfeldern mittels Beschriftungslaser (CO₂-Gaslaser, λ = 10600 nm, Fokus ø200 µm) bei Leistungen bis max. 50 W und in Größen bis 4x4 mm² auf verschiedenen Gehölzen aufgebracht und abfotografiert (Makroobjektiv, Auflösung 1280x960 pixel). Die Bildverarbeitungsalgorithmen wurden mit Halcon 9.0 (MVTec Software GmbH) entwickelt.



Aufbringen des 7bit-Musters mittels Lasermarkierung auf Gartenbauerzeugnissen (v.l.n.r.: Lasermarkierungsanlage, Soll-Muster, Ist-Muster auf Gehölzen)

Algorithmen zur Mustererkennung

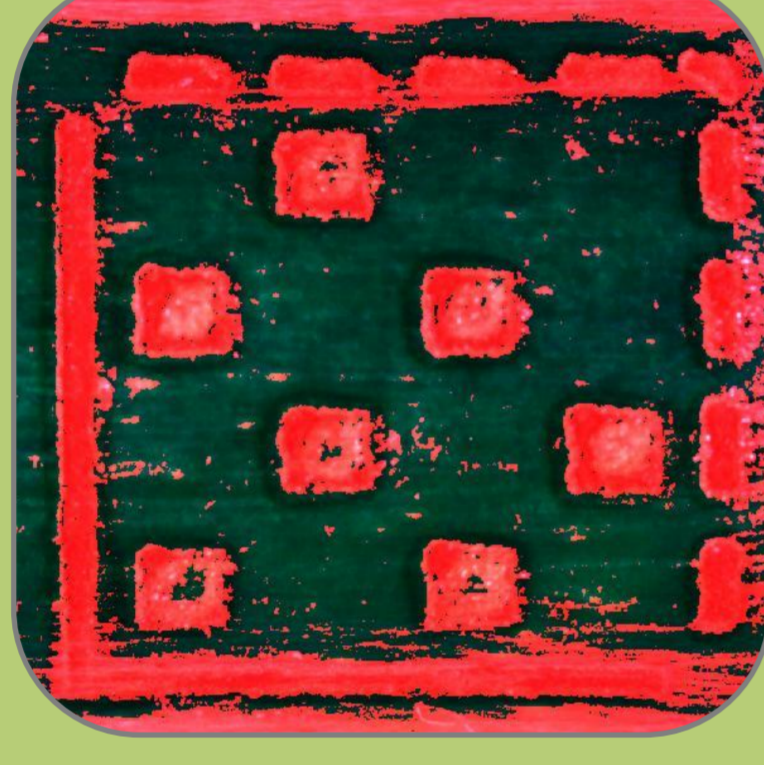


Vorverarbeitung

- Aufnahme RGB-Bild (I_0)
- Auswahl manueller Lerndatensätze
- Lasermarkierung (c_L)
- Hintergrund (c_H)

$$c_L = \begin{pmatrix} R_{L,1} & \dots & R_{L,n} \\ G_{L,1} & \dots & G_{L,n} \\ B_{L,1} & \dots & B_{L,n} \end{pmatrix}_{n=10}$$

$$c_H = \begin{pmatrix} R_{H,1} & \dots & R_{H,n} \\ G_{H,1} & \dots & G_{H,n} \\ B_{H,1} & \dots & B_{H,n} \end{pmatrix}_{n=10}$$



Binarisierung

- Schwellenwertfilterung durch Diskriminanzanalyse (→ Kontrastbild I_K)

$$c_{sz} = \begin{pmatrix} R_{sz} \\ G_{sz} \\ B_{sz} \end{pmatrix} \quad c_H^* = \begin{pmatrix} \bar{R}_H \\ \bar{G}_H \\ \bar{B}_H \end{pmatrix} \quad c_L^* = \begin{pmatrix} \bar{R}_L \\ \bar{G}_L \\ \bar{B}_L \end{pmatrix}$$

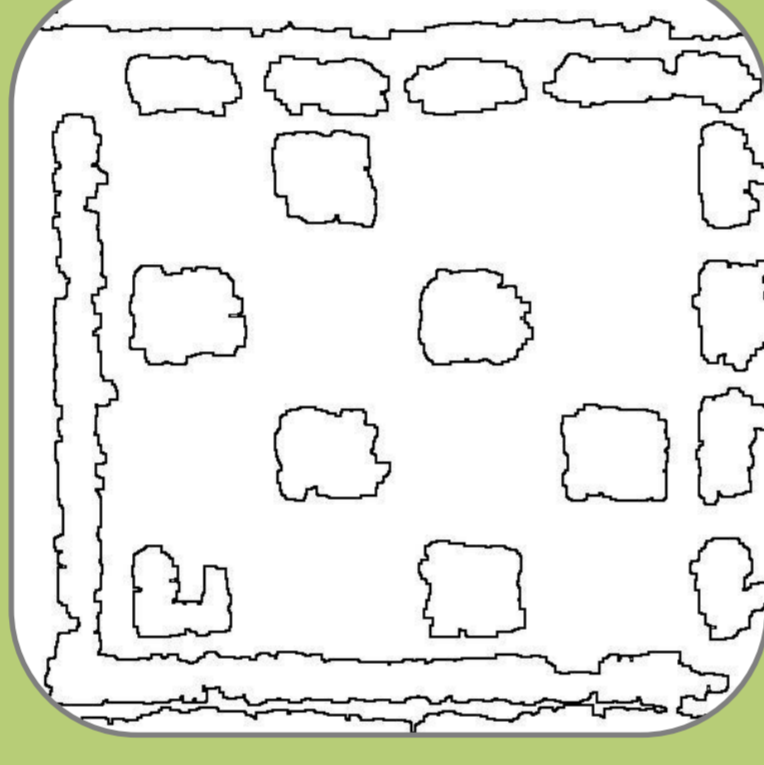
$$d_I(c_{sz}) = (c_{sz} - c_H^*)^T \cdot Cov(c_H, c_L) \cdot (c_{sz} - c_H^*)$$

$$d_H(c_{sz}) = (c_{sz} - c_L^*)^T \cdot Cov(c_H, c_L) \cdot (c_{sz} - c_L^*)$$

$$f_D(c_{sz}) = \frac{1}{2} \cdot (d_H(c_{sz}) - d_I(c_{sz}))$$

$$f_D(c_{sz}) = b_0 + b_1 \cdot R_{sz} + b_2 \cdot G_{sz} + b_3 \cdot B_{sz}$$

$$\begin{cases} f_D(c_{sz}) > 0 \Rightarrow c_{sz} \in c_H \\ f_D(c_{sz}) < 0 \Rightarrow c_{sz} \in c_L \end{cases}$$



Kantendetektion

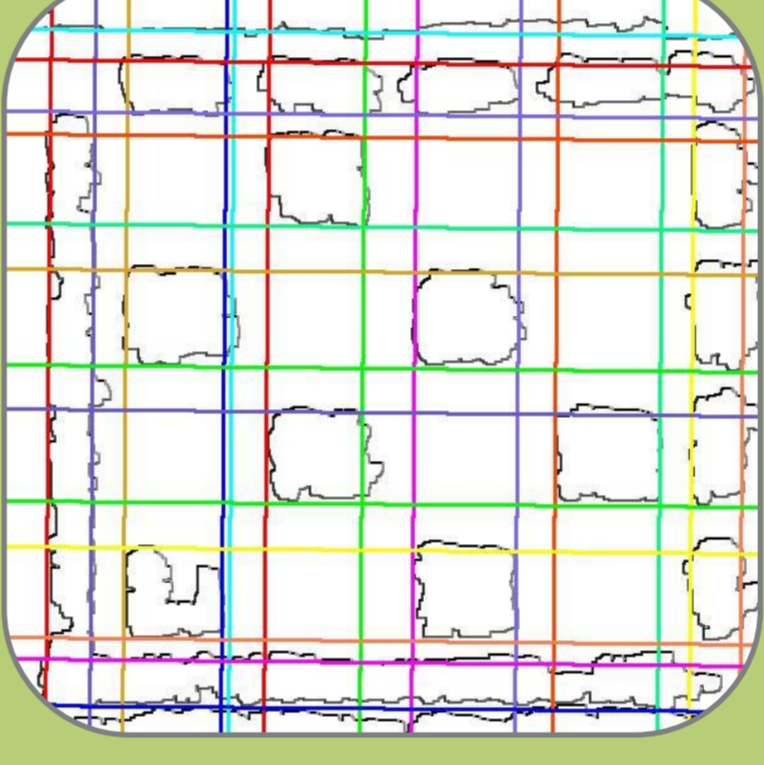
- Rauschfilterung $A_i^* > A_{i,min}$
- Füllung der Hohlräume
- Kantendetektion mittels Sobel-Operator (Helligkeitsgradienten → I_S)

$$I_S = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \cdot I_K$$

$$I_S = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \cdot I_K$$

$$I_S = \sqrt{I_{Sx}^2 + I_{Sy}^2}$$

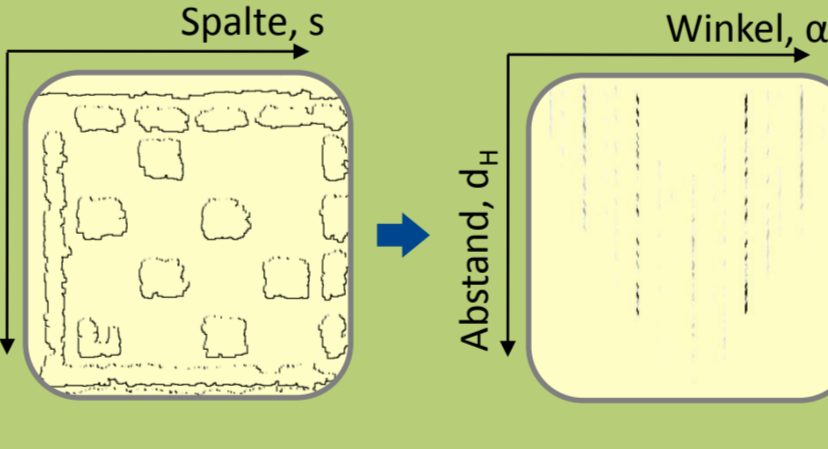
- Reduktion auf Kantenbereiche (Schwellenwert)



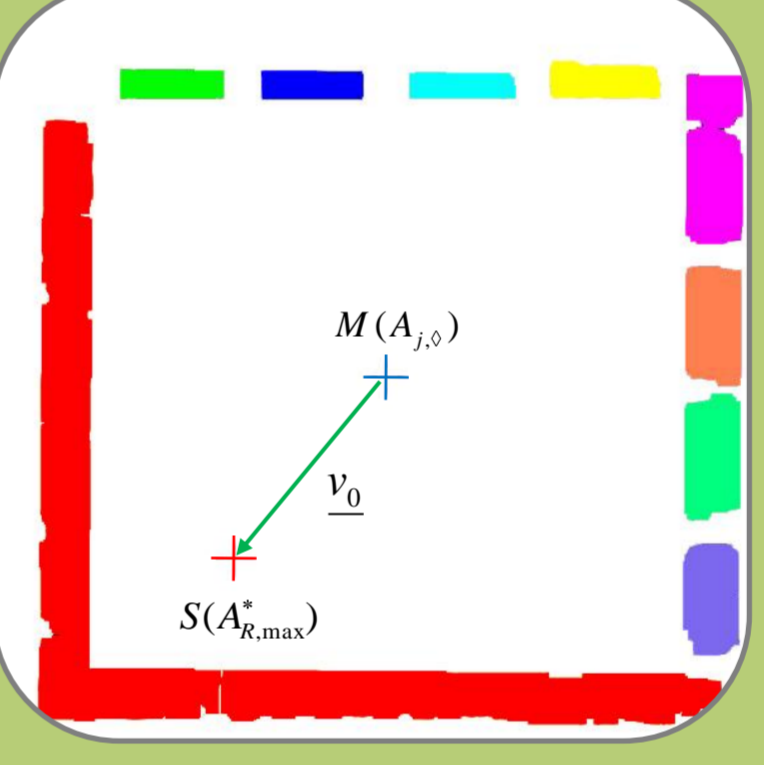
Hough-Transformation

- Abbildung aller möglichen Geraden im Hough-Raum (Spalte|Zeile → Winkel|Abstand)

$$d_H(s|z) = s \cdot \cos(\alpha) + z \cdot \sin(\alpha)$$

$$I_H(d_H|\alpha) + 1 \quad \forall (s|z) \in I_S$$


- Selektion auf Orthogonale ($\Delta_{Winkel} = \frac{\pi}{2}$) nach Häufigkeit



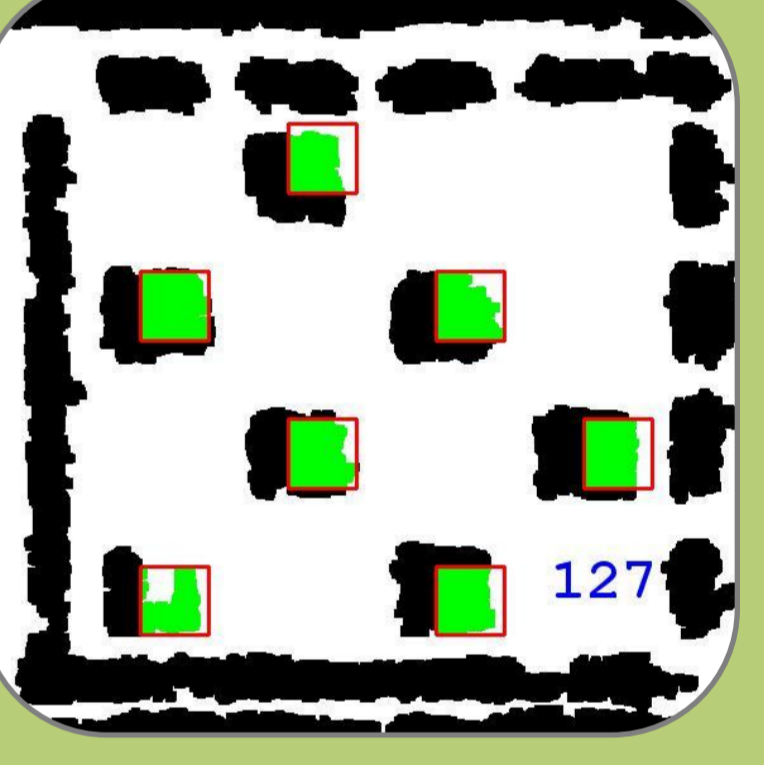
Selektion des Richtungsmusters

- Füllung Innenflächen → A_j
- Erzeugung umschließendes Rechteck ($A_{j,0}$)
- Selektion $A_j^* > A_{j,min}$
- Bestimmung der Schnittflächen → Rand
- Dilatation mit 1x1-Fläche
- Ermittlung der Orientierung

$$A_R = A_{j,0} \cap [(0,85 \cdot A_{j,0}) \cap A_j^*]$$

$$A_R^* = A_R \oplus A_{0(1;1)}$$

$$v_0 = v_S(A_{R,max}) - v_M(A_{j,0})$$



Musterentschlüsselung

- Übernahme der Idealflächen aus Soll-Muster
- Skalierung $k = \sqrt{A_{j,0}/A_0}$
- Relativkoord. zu $S(A_{R,max})$
- Schnittflächenermittlung je 1 Bit, z.B. $A_{bit1} = A_{v_1} \cap A_i^*$
- Bildung der Bitsumme

$$v_1 = 6,8 \cdot k \cdot e(v_0)$$

$$v_2 = 21,5 \cdot k \cdot e(v_0) \begin{pmatrix} -2 \\ 0 \end{pmatrix} + v_1$$

$$v_3 = 21,5 \cdot k \cdot e(v_0) \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \end{pmatrix} + v_1$$

$$v_4 = 21,5 \cdot k \cdot e(v_0) \begin{pmatrix} -3 \\ -1 \end{pmatrix} + v_1$$

$$v_5 = 21,5 \cdot k \cdot e(v_0) \begin{pmatrix} 0 \\ -2 \end{pmatrix} + v_1$$

$$v_6 = 21,5 \cdot k \cdot e(v_0) \begin{pmatrix} -2 \\ -2 \end{pmatrix} + v_1$$

$$v_7 = 21,5 \cdot k \cdot e(v_0) \begin{pmatrix} -1 \\ -3 \end{pmatrix} + v_1$$

Systemvalidierung

Zur Beurteilung des Erkennungssystems wurden optisch gut/schlecht beurteilte Lasermarkierungen eines ersten Testlaufs der automatisierten Muster-Bildverarbeitung in einer Fehlermatrix gegenübergestellt.

		manuelle Bewertung der Lasermarkierung	
		einwandfrei	fehlerhaft
automatische Mustererkennung	richtig	11 %	4 %
	falsch	17 %	68 %

Diskussion und Ausblick

Ein neues Bildverarbeitungsverfahren zur Erkennung von lasermarkierten 7bit-Mustern auf Gehölzen wurde entwickelt. Der Lasermarkierungsprozess hat dabei starken Einfluss auf die Auslesequalität: zu hohe Laserleistungen führen zu Unschärfe und erschwerter Diskriminanz. Durch geeignete Parameterwahl kann die Übertragung auf andere Gartenbauprodukte erfolgen. Die Grenzen des Markier- und Auslese-systems sind noch die Produktpositionierung zum Laser, Kontrastbildung bei ungünstigen Oberflächen sowie die Evaluierung der thermisch bedingten Muster-Minimalgröße.