



DGG-Proceedings, Vol. 6, 2016

Short Communications of the WeGa Network 2010-2015

Peer Reviewed

Editorial Board

Dirksmeyer, Walter *Braunschweig*
Flachowsky, Henryk *Dresden*
Förster, Nadja *Berlin*
Geyer, Martin *Potsdam*
Hardeweg, Bernd *Hannover*
Mibus-Schoppe, Heiko *Geisenheim*
Michaelis, Gerlinde *Bad-Zwischenahn*
Rath, Thomas (Editor in Chief) *Osnabrück*
Richter, Ellen *Braunschweig*
Thomas, Jens *Osnabrück*
Winkelmann, Traud *Hannover*
Zinkernagel, Jana *Geisenheim*

Thomas Rath* und Christian Marx

Optimierung von Lasersystemparametern zur Realisierung von 2D-Barcode-
Lasermarkierungen auf gartenbaulichen Produkten

*Corresponding Author:

Thomas Rath
Laboratory for Biosystems Engineering (BLab)
Hochschule Osnabrueck
Oldenburger Landstr. 24
49090 Osnabrueck

Email: t.rath@hs-Osnabrueck.de

Optimierung von Lasersystemparametern zur Realisierung von 2D-Barcode-Lasermarkierungen auf gartenbaulichen Produkten

Thomas Rath und Christian Marx

Hochschule Osnabrück, Laserzentrum Hannover, Leibniz Universität Hannover, Germany

1. Einleitung, Stand des Wissens, Zielsetzung

Seit den 1990er Jahren wird der Einsatz von Lasermarkierungen zur Kennzeichnung von Lebensmitteln untersucht (z.B. Piliero & Billyon (1990), Longobardi (2007)). Einige Autoren konnten zeigen, dass durch Lasermarkierung Beschädigungen an pflanzlichen Produkten stattfanden (z.B. Etxeberria *et al.*, 2006). Andere Studien erzielten aufgrund von anderen Laserparametern entgegengesetzte Ergebnisse (z.B. Yuk *et al.* (2007) oder Etxeberria *et al.* (2009)). Bei genauer Betrachtung der verfügbaren Literatur wird ersichtlich, dass nur Einzelaspekte des komplexen Einfluss- und Wirkungsgeflechts betrachtet werden. Eine systematische Untersuchung von technischen Einflussfaktoren auf die Güte von Lasermarkierungen auf pflanzlichen Produkten fehlt. Ziel der im Rahmen des WeGa-Verbundprojektes durchgeführten Arbeiten war es daher, Laserparameter zur Markierung von gartenbaulichen Produkten auf ihren Einfluss auf die Markierungsgüte von 2D-Barcodes systematisch zu untersuchen und so zu wählen, dass ein "optimales" Ergebnis auf der Produktoberfläche erzielt wird.

2. Material und Methoden

Die Arbeiten zur Lasermarkierung wurden zwischen 2011 und 2014 an der Leibniz Universität Hannover, im Laserzentrum Hannover und an der Hochschule Osnabrück durchgeführt. Dabei wurden 2D-Barcodes in verschiedenen Größen auf Gartenbauprodukte aufgebracht, die später mit einer Erkennungssoftware ausgelesen wurden. Ein Überblick über die verwendeten Laser und den dazugehörigen Wellenlängen sowie Betriebsparametern kann der Tabelle 1 entnommen werden.

Tab. 1: Getestete Lasersysteme zur Markierung gartenbaulicher Produkte

Laserstrahlquelle	Typ, Hersteller	Betriebsart	Wellenlänge (nm)
Excimer (ArF)	LPX-300, Coherent Inc.	gepulst, 100 Hz	193
Festkörper (Nd:YAG)	Rapid, Lumera Laser GmbH	gepulst, 500 kHz	532
Diodenlaser (InGaAs)	LDF 600-250, Laserline GmbH	cw	940
Festkörper (Nd:YAG)	RS-Marker 100D, Rofin-Sinar Inc.	gepulst, 5 kHz	1.064
Faserlaser (Tm)	TLM-50, IPG Laser GmbH	gepulst, 1 kHz	1.908
Gaslaser (CO ₂)	48-5, Synrad Inc.	quasi-cw	10.600

Weitergehende Untersuchungen erfolgten mit dem als optimal eingestuften System, einem CO₂-Lasersystem (48-5, Synrad Inc., Mukilteo, USA) bei einer Wellenlänge von 10600 nm und Pulsbetrieb (5 kHz) mit unterschiedlichen Ausgangsleistungen. Folgende Produkte wurden gelasert: *Rhododendron simsii* (Cunnighams white und Novaja Semlja) und Apfel (*Malus domestica* - Golden Delicious und Elstar). Darüber hinaus wurden Lasermarkierungsversuche mit Salatgurken, Chrysanthemen, Rosen, Petunien und Bananen durchgeführt (Ergebnisse hierzu siehe Nasution und Rath 2016).

3. Ergebnisse

Einfluss der Laserwellenlänge

Die Einkopplung von Laserenergie in Pflanzengewebe korreliert größtenteils mit dem Absorptionsspektrum von Wasser. Ein weiterer Einfluss auf die Absorption wurde insbesondere bei den Zellwänden vermutet. Dies konnte an lasermarkierten *Rhododendron*-Stecklingen belegt werden. Bei Excimer-(193 nm) und Festkörper-Lasern (frequenzverdoppelt, 532 nm) war das Muster eher schneidend. Bei Dioden-(940 nm) und Festkörper-Lasern (1064 nm) war es nicht erkennbar. Faser-(1908 nm) und Gas-Laser (10600 nm) führten wiederum zu erkennbaren, weniger scharfkantigen Markierungen (siehe Abbildung 1). Der Vergleich zwischen Faser-(1908nm) und CO₂-Laser (10600 nm) zeigte, dass bei gleicher Laserenergie die Wirkung der langwelligeren Strahlung auf das Pflanzengewebe stärker war. Für die weiteren Untersuchungen wurde daher das CO₂-Lasersystem mit flexibler Scanneroptik (SH3-200C, Synrad Inc., Mukilteo, USA) gewählt, um erkennbare Markierungen bei minimaler Energieeinbringung zu generieren.

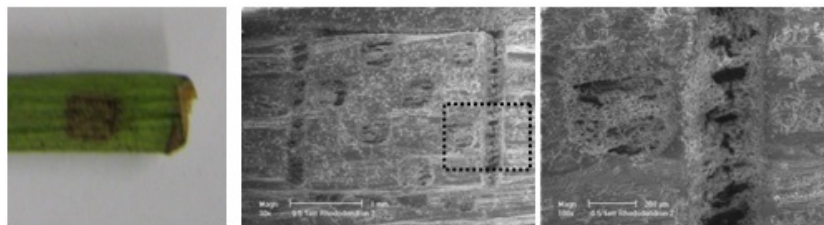


Abb. 1: CO₂-Lasereinsatz bei *Rhododendron*steckling (mitte und rechts REM-Aufnahme)

Einfluss der Laserleistung

Mit steigender Laserausgangsleistung nahm die Ausprägung der Muster je nach Produkt unterschiedlich stark zu (Abbildung 2). Die unmittelbare, nicht bestrahlte Umgebung der Musterflächen wurde durch die Laserbestrahlung beeinflusst, was sich an kleiner werdenden Abständen zwischen den einzelnen Flächen zeigte. Diese Flächen vergrößerten sich so stark, dass sie sich berührten und überlappten, sodass eine Unterscheidung erschwert wurde. Bei einem lasermarkierten Apfel war dieser Effekt bereits bei geringen Laserenergien zu beobachten (ähnliches galt für Salatgurken). Die Wärmeeinflusszone während der Markierung konnte in thermographischen Aufnahmen sichtbar gemacht werden. Die zeilenweise Markierung des scannergeführten Laserstrahls ist in Abbildung 3 deutlich erkennbar. Die Musterflächen sind während und auch nach der Bestrahlung wärmer als das umgebende Gewebe. Es erfolgt nur ein geringer Schnellwärmtransport in das umgebende Gewebe. Das lässt darauf schließen, dass viel

Laserenergie durch Wasserverdampfung abgebaut wird.

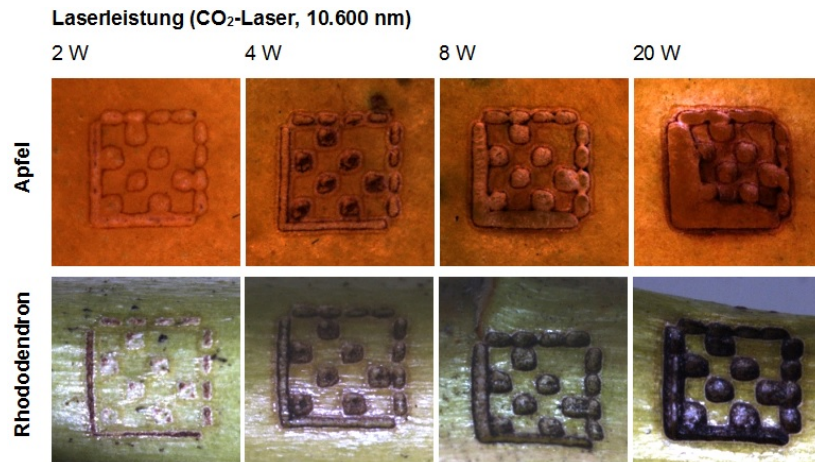


Abb. 2: Lasermarkierungen bei unterschiedlichen Laserleistungen

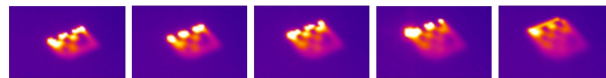


Abb. 3: Thermographische Aufnahmen während der Lasermarkierung eines Apfels
(Zeitabstand zwischen den Aufnahmen: 160 ms)

Einfluss der Orientierung des Markierungsmusters

Bei der Lasermarkierung von Pflanzenoberflächen zeigten sich aufgrund der rechtwinkligen Anordnung der Musterflächen und der zeilenweisen Bearbeitung Einflüsse auf die Ausprägung der Muster. Besonders in Richtung der Laserzeilen wurden einzelne Musterflächen stärker ausgeprägt. Daher wurden die 2D-Codes in der Steuerungssoftware vor der Ausführung um 45° zur Horizontalen gedreht, wodurch die Pflanzenprodukte entsprechend im Bearbeitungsfeld des Lasers gedreht werden mussten. Durch die Drehung des Musters wurde eine Vorzugsrichtung in der Musterausprägung vermieden.

Optimale Mustergröße

In Abhängigkeit von der Mustergröße gehen Codes ineinander über (siehe Abbildung 4).

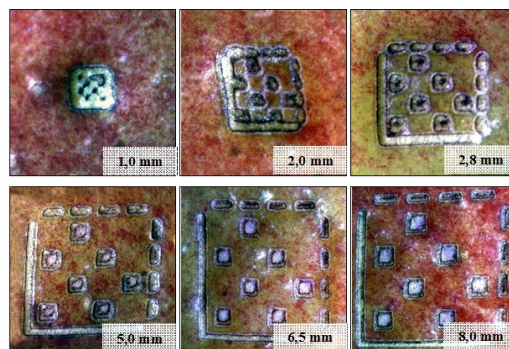


Abb. 4: Lasermarkierungen bei Apfel (Code-Kantenlängen angegeben) (4 Watt)

Aus den aufgeführten Ergebnissen lassen sich laserleistungsabhängige Minimalmustergrößen ableiten. Abbildung 5 stellt die Minimalabstände der einzelnen Codemuster bei Rhododendron und Apfel bei unterschiedlichen Laserleistungen und unterschiedlichen Kantenlängen der 2D-Codes theoretisch (Sollgeometrie) und in der Realität dar. Die Abbildung kann genutzt werden, um die optimale Mustergröße bei den verschiedenen Wattstufen einzuschätzen (gültig für den verwendeten CO₂-Laser). So müsste z.B. bei einer Apfel-Codierung mit 2 Watt Laserleistung und einem geforderten Einzelflächenabstand von 200 µm der dargestellte 2D-Code mindestens eine Kantenlänge von 4,8 mm haben.

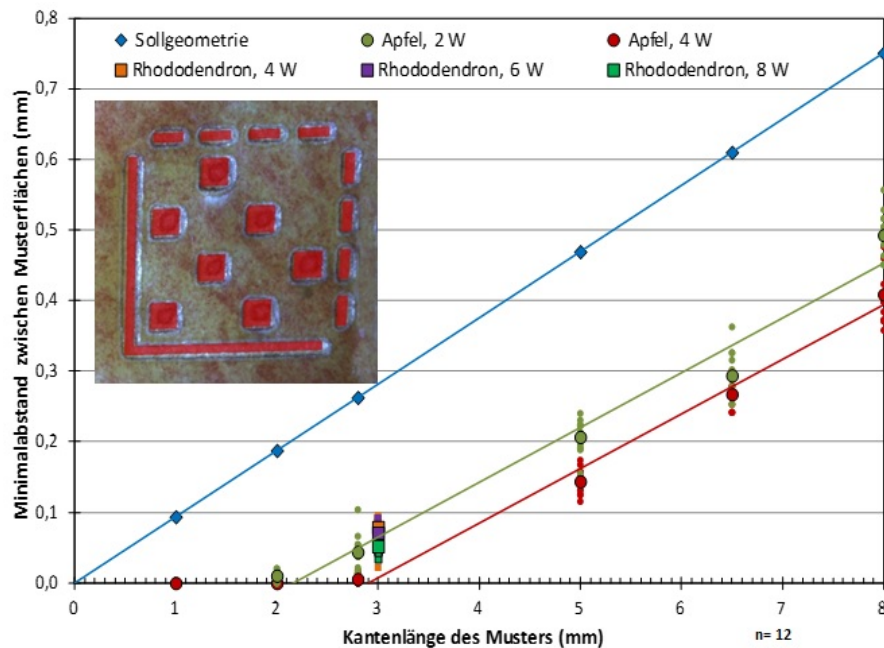


Abb. 5: Theoretischer (Sollgeometrie) und real erzielbarer Musterabstand bei der Laserung

4. Diskussion

Die vorhandene Literatur zeigt, dass ein großes Wissensdefizit bzgl. der optimalen technischen Parameter bei der gartenbaulichen Produktlasermarkierung existiert. Zahlreiche technische Parameter kontrollieren und beeinflussen den Laserprozess (z.B. Wellenlänge, Leistung, Energie, Laserscangeschwindigkeit, Strahlprofil, Laserrichtung, Linsenparameter, Wobbleart, Scannerauflösung, etc.). Insofern ist jeder Laserprozess mit den verknüpften Parametern spezifisch und somit auch die Wirkung auf ein biologisches Material spezifisch und nicht ohne weiteres auf andere Materialien übertragbar. Eine vollständige Evaluierung aller Parameter und deren Kombinationen ist nicht möglich und somit eine Vorauswahl unerlässlich. Die von uns ausgewählten und verwendeten technischen Parameter haben sich bei den zahlreichen Versuchen an den unterschiedlichen Produktgruppen als zentral bzw. wesentlich herausgestellt. Sie beeinflussen den Laserprozess so stark, dass eine Nichtbeachtung zur Zerstörung des Produktes oder zur Nichtverwertbarkeit der aufgetragenen Lasermarkierung führen kann.

Trotzdem bleibt festzuhalten, dass die von uns ermittelten "optimalen" Parameter nicht im Sinne einer mathematischen Optimierung verstanden werden können, sondern sie geben lediglich einen Hinweis auf mögliche optimale technische Systemparameter bei der Lasermarkierung gartenbaulicher Produkte. Insbesondere ist der Einflussparameter Leistung zum Teil nur wenig aussagekräftig, da die eingebrachte Energie von der Zeit abhängig ist, mit der die Leistung auf die Kutikula aufgebracht wird. Da die Laserleistung aber wesentlich die Art der Zerstörung der Produktoberfläche beeinflusst, ist sie sehr bedeutend. Für eine detaillierte Betrachtung der Laserenergie muss auf die Arbeit von Nasution und Rath (2016) und Marx (2014) verwiesen werden.

5. Schlussfolgerung

Aus den aufgeführten Ergebnissen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

1. Die Lasermarkierung sollte mit langwelligen (IR) Lasern durchgeführt werden. Die Muster auf den Produkten erzeugen dadurch guten Kontrast und die Verletzung der Kutikula ist minimal.
2. Sollen 2D-Barcodes gelasert werden, erweist es sich als sinnvoll, die Muster nicht in Hauptrichtung der Laserlinien aufzubringen. In der Regel ergeben um 45° gedrehte Muster gleichmäßigere Lasermuster.
3. Wichtiger Einflussparameter ist die aus dem Laser ausgekoppelte Photonen-Leistung. Hier sind Bereiche unter 5 Watt akzeptabel, da Wärmeweitergabe im Gewebe und Disruption der Kutikula begrenzt bleiben.
4. Um eine optimale Auslesequalität der 2D-Codes zu erreichen, müssen die markierten Flächen ausreichend Abstand zueinander haben. Deswegen muss die minimale Codegröße größer sein, als sie sich aus theoretischen Berechnungen ergeben würde. Abbildung 5 kann zur Kalkulation der benötigten Codegrößen verwendet werden.

6. Literatur

Etxeberria E., Miller W.M., Achor D. (2006): Anatomical and Morphological Characteristics of Laser Etching Depressions for Fruit Labeling. HortTechnology, 16(3), 527-532.

Etxeberria E., Narciso C., Sood P., Gonzales P., Narciso J. (2009): The Anatomy of a Laser Label. Proceedings of the Florida State Horticultural Society, 122, 347-349.

Longobardi R. (2007): Verfahren und Vorrichtung für die Markierung von Obst mittels Laser mit vor der Markierung einem Reinigungs-/ Trocknungsvorgang und nach der Markierung einem Versiegelungsvorgang des markierten Bereichs. Patent EP 1747838.

Marx C. (2014): Untersuchungen zum Einsatz von Lasertechnologie in der Pflanzenproduktion. Dissertation Leibniz Universität Hannover.

Nasution, S.I., Rath, T. (2016): Optimal laser marking of 2D data matrix codes on Cavendish bananas. Research in Agricultural Engineering, 26, 2016, http://www.agriculturejournals.cz/web/rae.htm?type=article&id=26_2016-RAE(in press).

Piliro R., Billyon M. (1990): Verfahren und Vorrichtung zum Versehen von Lebensmitteln mit einer Oberflächenkennzeichnung durch thermische Behandlung und so gekennzeichnete Lebensmittel. Patent DE 3836821.

Yuk H.G., Warren B.R., Schneider K.R. (2007): Infiltration and survival of Salmonella species on tomato surfaces labeled using low energy carbon-dioxide laser device. HortTechnology, 17, 67-71.