

## Konfigurationsmöglichkeiten und Datenkonzepte des *Multiwavelength Line Profiling (MWLP)* Systems

### *Configuration and Image Data Concepts of the Multiwavelength Line Profiling (MWLP) System*

Wolfram Strothmann<sup>1</sup>, Vadim Tsukor<sup>1</sup>, Joachim Hertzberg<sup>2</sup>, Arno Ruckelshausen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hochschule Osnabrück, Competence of Applied Agricultural Engineering (COALA), Albrechtstr. 30, 49076 Osnabrück

Email: w.strothmann@hs-osnabrueck.de.

<sup>2</sup> Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI), Robotics Innovation Center, Außenstelle Osnabrück, Albert-Einstein-Str. 1, 49076 Osnabrück.

**Kurzfassung:** Der Ansatz des Multiwavelength Laser Line Profile Sensing ist ein neuartiges Sensorkonzept, welches durch die Autoren konzipiert, entwickelt und umgesetzt wurde. Das MWLP-System bietet, durch Erfassung von Laser-Linienprofilen bei mehreren, verschiedenen Wellenlängen und deren Zusammenführung basierend auf optischem Tracking, die Möglichkeit, 3D-Informationen zusammen mit Spektralinformationen bei verschiedenen, anwendungsspezifisch wählbaren Wellenlängen zwischen ca. 400 und 1000 nm zu erfassen. Dabei können sowohl Reflexionseigenschaften als auch Rückstreuungsmerkmale der zu untersuchenden Objekte bildgebend bei verschiedenen Wellenlängen erfasst werden. Rückstreuungswerte sind vor allen für wasserreiche Objekte bei Wellenlängen zwischen 600 und 1000 nm von Interesse, da hier der Laser auch z. T. in das Objekt eindringt und schließlich unter der Oberfläche zurückgestreut wird. Somit lassen sich hier auch Merkmale, welche sich leicht unterhalb der Oberfläche manifestieren, mittels des Sensorsystems bildgebend adressieren.

**Deskriptoren:** Multiwavelength, Laser, Rückstreuung, Lichtschnitt

**Abstract:** *The Multiwavelength Laser Line Profile Sensing approach is a novel sensing concept, designed and realized by the authors. The MWLP-System offers – by capturing and detecting multiple laser line profiles at different wavelength and their assembly based on optical tracking – the possibility to collect 3D – information along with spectral information at multiple, selectable wavelengths using a single sensor system. Line lasers with wavelengths in the range between 400 and 1000 nm can be chosen. Thereby, data of reflexion and backscattering of the objects are collected at multiple wavelength in an image-based manner. Backscattering ins particularly of interest for objects with high water content in the wavelength range between 600 and 1000 nm. In this band the laser partly enters the object and is scattered back beneath*

the surface. Consequently, even some properties that manifest beneath the surface can be addressed for such objects using the MWLP-System.

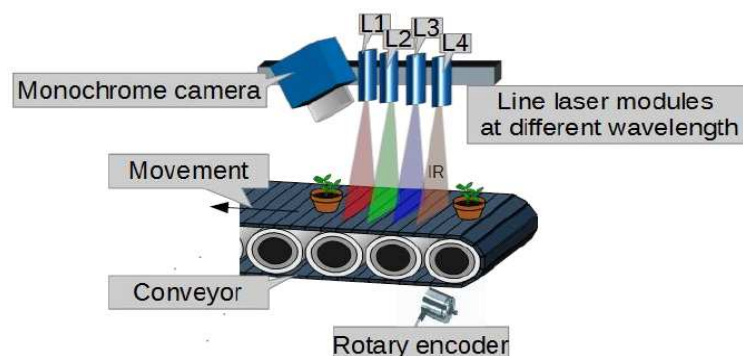
**Keywords:** Multiwavelength, Laser, Backscattering, Line Profile sensing

## 1 Einleitung

Lasertriangulation zur Distanzmessung ist ein weitverbreitetes Verfahren und vielfältig in industriellen Anwendungen eingesetztes Verfahren zur hoch genauen 3D-Messung. Auch im Agrarbereich wird es in zunehmendem Maße eingesetzt (PAULUS *et al.* 2014). Hierbei tritt allerdings das Problem auf, dass häufig neben 3D-Abstandsinformationen auch spektral-selektive Reflexionseigenschaften der zu untersuchenden Objekte benötigt werden. Dies führt häufig zum Einsatz von Multisensorlösungen, bspw. Im Bereich der Phänotypisierung (BUSEMEYER *et al.* 2013). Damit verbunden sind allerdings Probleme hinsichtlich Kalibrierung und erschütterungsfreien Justage der Sensoren zu einander. Aus dieser Problemstellung heraus entstand die Idee für ein neuartiges Sensorsystem, welches 3D-Informationen zusammen mit Reflexionseigenschaften und Rückstreuungsmerkmalen in einem einzelnen Scandurchlauf mit einem Sensorsystem erfassen kann (STROTHMANN *et al.* 2014).

## 2 Systemaufbau MWLP-System

Das *Multiwavelength Line Profiling* (MWLP) System besteht aus einer High-Speed Monochrom-Kamera und mehreren, hintereinander angeordneten *continuous-wave* (CW) Linienlasern. Die Kamera vom Typ Baumer HXG20NIR liefert 105 fps bei ihrer vollen Auflösung von 2048x1088. Die Framerate der Kamera mit CMOS Bildsensor kann bei herabgesetzter Auflösung noch gesteigert werden. Der Aufbau des MWLP-Systems wird in **Abbildung 1** gezeigt.



**Abbildung 1:** Schematischer Aufbau des MWLP-Systems

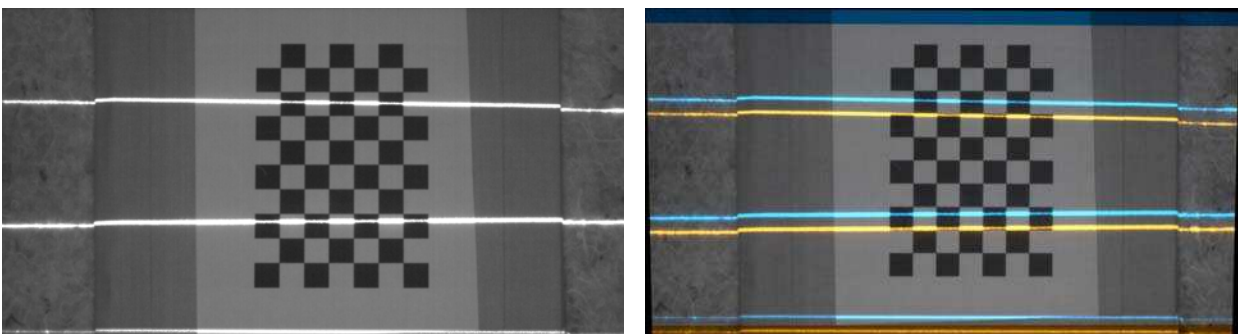
Für den Einsatz mit dem MWLP-System können Linienlaser mit verschiedenen Wellenlängen im Bereich zwischen ca. 400 nm und ca. 1000 nm entsprechend den anwendungsspezifischen Anforderungen kombiniert werden. Das MWLP-System erkennt wäh-

rend des Scannens der Objekte alle Laserlinien und führt diese basierend auf Drehgeberinformationen und optischem Tracking auf Pixelebene zusammen. Einen genauen Überblick über das System gibt (STROTHMANN *et al.* 2014). Das MWLP-System kann sowohl in einer Konstellation mit festem Sensor und bewegten Objekten (z. B. montiert auf einem Förderband) oder in einer Konstellation mit bewegtem Sensor und festen Objekten (z. B. montiert auf einem Trägerfahrzeug o. ä.) betrieben werden.

Im Prinzip ist die Anzahl der Laser, die gleichzeitig am MWLP-System eingesetzt werden können, nicht beschränkt. Allerdings ist bei der Konfiguration zu beachten, dass jeder Laser im Bild eine bestimmte *Region-of-Interest* (ROI) des Blickfeldes der Kamera einnimmt. Um gültige Scans zu erzeugen, darf die jeweilige Laserlinie nur in dieser ROI erscheinen. Daher steht bei z. B. einer Konfiguration mit 3 Lasern pro Laser nur 1/3 des Sichtfeldes der Kamera zur Verfügung. Daher wird das für jede Triangulationsanwendung gültige Spannungsfeld zwischen erreichbarer Messauflösung und Größe des Messbereiches (maximaler messbarer Abstand – minimaler messbarer Abstand) hier mit zunehmender Laseranzahl verschärft, d. h. bei einer Konfiguration mit dem MWLP-Systems mit N Lasern muss entweder die erreichbare Distanzauflösung oder der Messbereich durch N geteilt werden. Daher ist ein Einsatz des MWLP-Systems mit 10 oder 20 Lasern eher unrealistisch, in Konfigurationen mit 3 - 4 anwendungsspezifisch wählbaren Lasern ließen sich jedoch in praktischen Experimenten gute Ergebnisse erzielen.

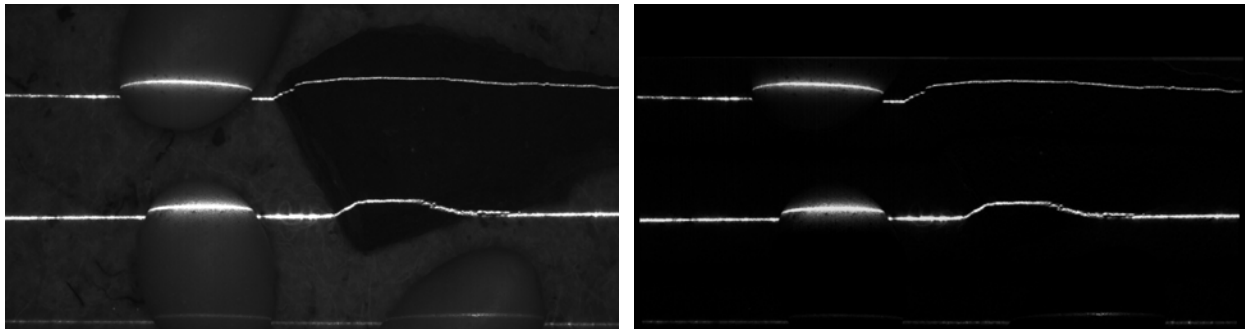
### 3 Bildvorverarbeitung

Die Bildverarbeitungsschritte des MWLP-Systems sind in (STROTHMANN *et al.* 2014) aufgeführt. In diesem Beitrag soll insbesondere erörtert werden, wie aus den originären Kamerabildern bildgebend auswertbare Reflexions- und Rückstreuungswerte extrahiert werden. Hierzu muss erwähnt werden, dass – nach ein paar Vorverarbeitungsschritten - ein optisches Matching nacheinander mit Versatz erfasster Kamerabilder durchgeführt wird.



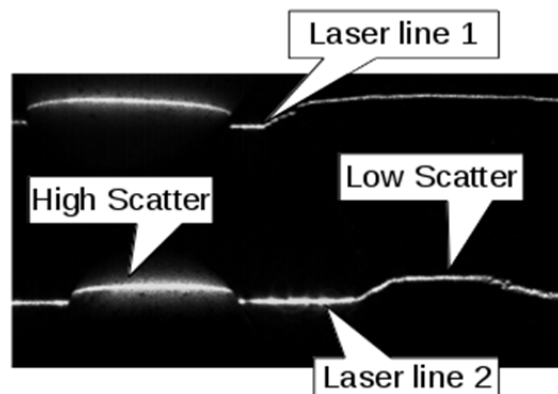
**Abbildung 2:** Optisches Bildmatching des MWLP-Systems. Links Original Kamerabild mehrerer Laserlinien, rechts Matchingergebnis von Bildern, die mit Versatz hintereinander aufgenommen worden sind.

Dies ist in **Abbildung 2** gezeigt. Auf der linken Seite der Abbildung ist ein Kamerabild mehrerer Laserlinien zu sehen. Auf der rechten Seite ist ein Bild zweier in etwas Abstand zueinander aufgenommener, gematchter Bilder zu sehen. Die Laserlinien werden vor dem Matchingprozess gefiltert, sodass das Matching nur auf Basis der Strukturen im Bildhintergrund stattfindet. Auf der rechten Seite sind 2 übereinander gelegte Bilder zu sehen, wobei ein Bild bläulich und eines orange eingefärbt ist. Überall, wo die Bilder identisch sind, entsteht auf diese Weise wieder ein graues Bild, Verzerrungen erscheinen farbig. In dem Bild ist zu sehen, dass der Hintergrund grau erscheint; die Bilder sind hier also identisch. Die Laserlinien erscheinen farbig, da diese mit dem Bildsensor verbunden sind und sich somit nicht mit dem Szenarie zusammen verschoben haben. Auf diese Weise lässt sich durch Differenzbildung gematchter Bilder ein erheblich verbessertes Eingangsbild für die Linienerkennung generieren, bei dem Laserlinien erheblich hervorgehoben werden und Hintergrundbeleuchtung bzw. Streulichteinflüsse von außen sich in den verschiedenen Bildern gegenseitig weg subtrahieren.



**Abbildung 3:** Kamerarohbild und Differenzbild einer Szene mit Kartoffel und Stein

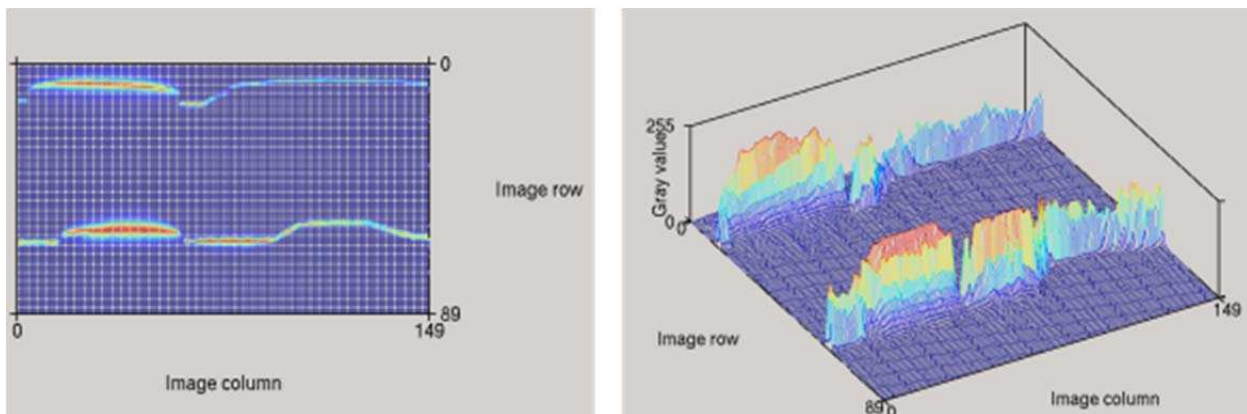
Im linken Teil von **Abbildung 3** ist ein Kamerarohbild einer mit 3 Linienlasern gescannten Szenerie zu sehen. Im linken Teil der Szene befinden sich wasserreiche Objekte (Kartoffeln), im rechten Teil eine optisch dichtes Objekt (Stein). Im linken Teil von **Abbildung 3** ist das auf die beschriebene Weise mittels Matching und Differenzbildung generierte Differenzbild dieses Kamerarohbildes. Es wird zum Einen deutlich, dass die Laserlinien im Differenzbild deutlich hervorgehoben sind, was ideale Eingangsbedingungen für die Linienerkennung darstellt. Zum Anderen wird aber auch deutlich, dass die Rückstreuung der Laserlinien bei wasserreichen Objekten auf der linken Seite der Szene im Differenzbild besonders deutlich zu beobachten ist, da auch diese Effekte durch die Beleuchtungseinflüsse der fest zur Kamera montierten Laser induziert werden. Auf diese Weise bietet die Matchingbasierte Differenzbild-erstellung auch verbesserte Möglichkeiten zur streulichtunabhängigen Analyse der Laserrückstreuung bei verschiedenen Wellenlängen mit dem MWLP-System. Dies ist auch in **Abbildung 4** zu sehen.



**Abbildung 4:** Differenzbildausschnitt mit starker Rückstreuung bei Kartoffel und wenig Rückstreuung bei Stein

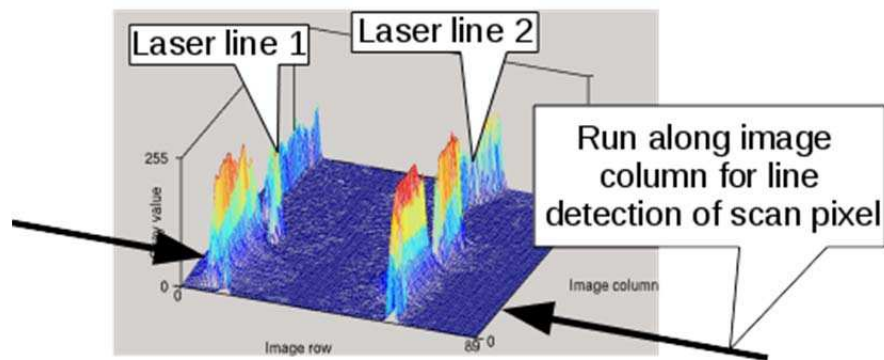
#### 4 Linienerkennung

Bei der Linienerkennung wird Bildspalte für Bildspalte in den Differenzbildern nach den jeweiligen Linien innerhalb ihrer zulässigen ROIs gesucht. Dieses Vorgehen ist in den folgenden Abbildungen dargestellt. In **Abbildung 5** werden die Bilddaten aus **Abbildung 4** als Pseudofarbbild und als Höhenprofildarstellung gezeigt.

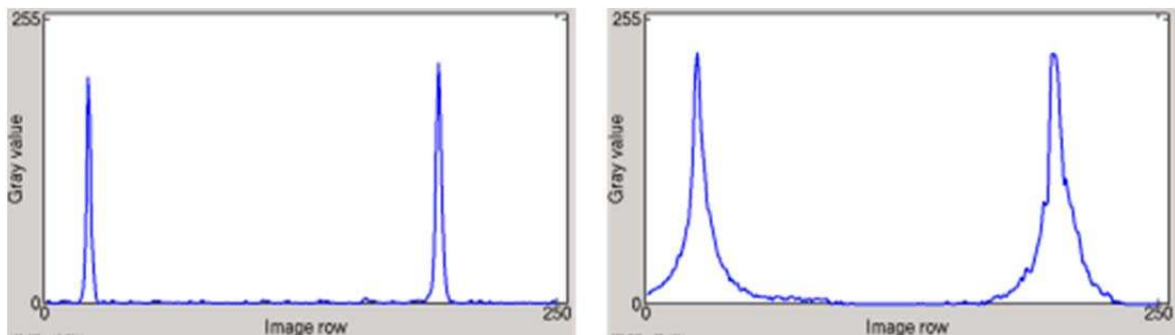


**Abbildung 5:** Pseudofarbbild und Höhenprofildarstellung der Bilddaten aus **Abbildung 4**. Die Grauwerte sind in z-Richtung aufgetragen. Die Bildauflösung ist zu Darstellungszwecken heruntergesetzt.

In **Abbildung 6** ist die Höhenprofildarstellung der Laserlinien in **Abbildung 4** gezeigt. Auch hier ist die Rückstreuung im vorderen Bereich zu erkennen, da die Linienprofile dort sanfter auslaufen, als im hinteren Bereich. Dies ist auch sehr deutlich anhand der in **Abbildung 7** gezeigten Querschnitte entlang der Bildspalten zu sehen. Hier ist die Bildzeile auf der x-Achse abgetragen, der y-Wert entspricht dem Grauwert im Differenzbild. Es wird deutlich, dass sich der vordere und hintere Querschnitt zwar in der Höhe der Peaks relativ wenig unterscheiden, wohl aber im Kurvenverlauf des aufgenommenen Querschnitts der Laserlinien.



**Abbildung 6:** Laserlinie 1 und 2 aus **Abbildung 4** im Höhenprofil. Die Linienerkennung erfolgt entlang der Bildspalten.



**Abbildung 7:** Querschnitt des Höhenprofils entlang einer Bildspalte. Links: hinterer Bereich, wenig Scattering; rechts: vorderer Bereich, viel Scattering

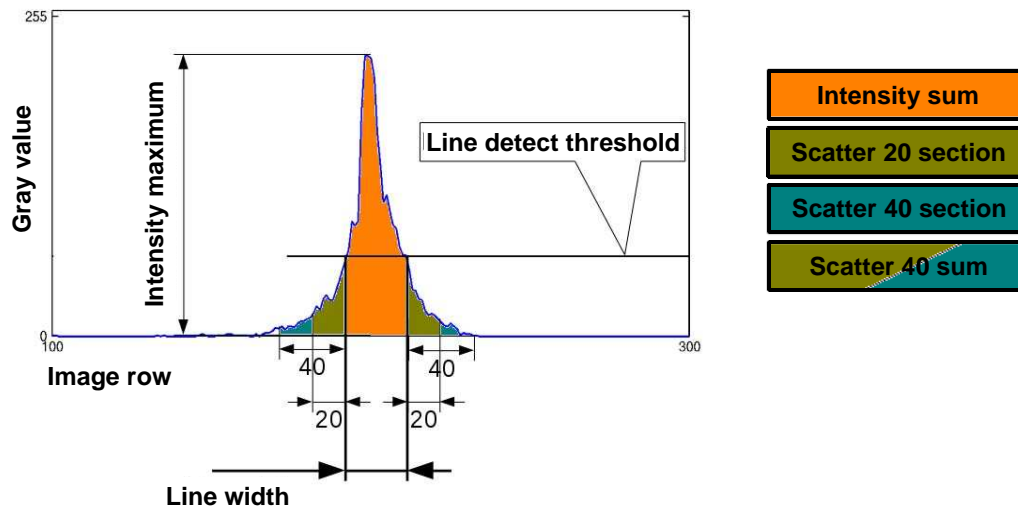
Derartige Querschnitte sind die Grundlage der Linienerkennung mit dem MWLP-System. Die Linien werden innerhalb vorab kalibrierter ROIs gesucht. Dabei werden die Liniensegmente mittels eines Schwellwerts ermittelt. MUELLER *et al.* haben gezeigt, dass eine solche Segmentierung als Vorschrift zur Linienerkennung üblichen mittels *Center-of-Gravity* (COG) Analyse die Linienerkennung beim Lichtschnitt insbesondere bei viel Scattering verbessert (MUELLER *et al.* 2014). Beim MWLP-System wird hier aus Performancegründen auf die COG-Analyse verzichtet und nur eine Segmentierung durchgeführt. Als Linienerkennung wird dabei Segmentmitte angenommen. Ob eine nachgeschaltete COG-Analyse die in (STROTHMANN *et al.* 2014) genannten Metriken des MWLP-System noch verbessern kann, ist zu prüfen. Es wird aber angenommen, dass diese Effekte marginal sind, da, wie auch in **Abbildung 7** zu sehen, die Querschnitte i.d.R. weitgehend symmetrisch sind.

## 5 Merkmalsextraktion für Reflexion und Rückstreuung

Um Reflexion und Rückstreuung für alle verbundenen Laser bildgebend erfassen zu können, müssen aus den Querschnitten der Laserlinie entlang der Bildspalten für jeden Pixel der entstehenden MWLP-Scandaten numerische Merkmale aus dem Linienquer-



schnitt extrahiert werden, die später skaliert und bildgebend dargestellt werden können. Hierbei ist allerdings die hohe Extraktionsrate zu beachten. Wenn das MWLP-System mit 100 fps Kameraframerate, 3 Linienlasern und voller Kameraauflösung von 2048 Bildspalten arbeitet, so finden pro Sekunde bis zu 614400 derartige Merkmalsextraktionsvorgänge statt (parallel zu Bildaufnahme/Kamera-/Lasersteuerung und allen sonstigen Bildverarbeitungsschritten). Auf Fitting eines Modelles zur Beschreibung von Laserrückstreuungsprofilen, wie bspw. die für die Analyse von Punktlasern verbreitete *Gaussian-Lorentzian Cross Product Function* (GL) (z. B. LORENTE *et al.* 2013), wurde hier verzichtet, da dies aufgrund der hohen Scanrate nicht machbar ist. Aufgrund der hohen Scanrate wurden hier einfachere, insbesondere Summenbasierte Merkmale ausgewählt, und zwar lediglich solche, die sich mit einem einzelnen Schleifendurchlauf über den Linienquerschnitt berechnen lassen. Dies schließt leider auch für die Linienbreite die Analyse nach *Full-Width-at-Half-Maximum* (FWHM) aus, da hier 2 Schleifendurchläufe erforderlich sind (Ein Durchlauf, um das Maximum zu finden und damit den Schwellwert festzulegen, und ein Durchlauf, um den Schwellwert anzuwenden und damit die Breite zu bestimmen.) Die Linienbreite (und Linienerkennung) finden hier mit einem festen Schwellwert statt. Aufgrund des hohen Normalisierungsgrades der Bilder, bedingt durch die Differenzbildung vor der Linienerkennung, welche Streulichteinflüsse sehr gut herausfiltert, konnten hier aber auch mit festem Schwellwert gute Ergebnisse erzielt werden.



**Abbildung 8:** Extrahierte Reflexions- und Rückstreuungsmerkmale aus dem Linienquerschnitt pro Linienlaser und MWLP-Scanpixel.

Die Extraktion der Merkmale, die durch das System für jede Laserlinie und jede Bildspalte in jedem eingehenden Bild der Kamera ermittelt werden, sind in **Abbildung 8** dargestellt. Dort ist ein Querschnitt durch eine einzelne Laserlinie dargestellt (Ausschnitt aus einer Darstellung wie in **Abbildung 7** zu sehen).

**Tabelle 1:** Extrahierte Merkmale pro Linienlaser und MWLP-Scanpixel

Merkmal	Beschreibung
<i>Line-Width</i>	Abstand zwischen Linienanfang und -ende (Schnittstellen des Verlaufes der Grauwertkurve der Spalte des Differenzbildes mit dem Linienerkennungsschwellwert)
<i>Intensity-Maximum</i>	Maximaler Grauwert der Laserlinie im Differenzbild
Intensity-Sum	Summe der Pixelwerte der Spalte im Differenzbild zwischen Linienanfang und -ende
<i>Scatter-20-Section</i>	Summe der Pixelwerte der Spalte im Differenzbild im Abstand von 1 bis 20 Pixeln zum Linienanfang vor dem Linienanfang und im Abstand von 1 bis 20 Pixeln zum Linienende hinter dem Linienende
<i>Scatter-40-Section</i>	Summe wie <i>Scatter-20-Section</i> mit Abstand 21 bis 40 Pixel
<i>Scatter-40-Sum</i>	Summe wie <i>Scatter-20-Section</i> mit Abstand 1 bis 40 Pixel; entspricht <i>Scatter-20-Section</i> + <i>Scatter-40-Section</i>
<i>Scatter-60-Section</i>	Summe wie <i>Scatter-20-Section</i> mit Abstand 41 bis 60 Pixel
<i>Scatter-60-Sum</i>	Summe wie <i>Scatter-20-Section</i> mit Abstand 1 bis 60 Pixel; entspricht <i>Scatter-40-Sum</i> + <i>Scatter-60-Section</i>
<i>Scatter-80-Section</i>	Summe wie <i>Scatter-20-Section</i> mit Abstand 61 bis 80 Pixel
<i>Scatter-80-Sum</i>	Summe wie <i>Scatter-20-Section</i> mit Abstand 1 bis 80 Pixel; entspricht <i>Scatter-60-Sum</i> + <i>Scatter-80-Section</i>

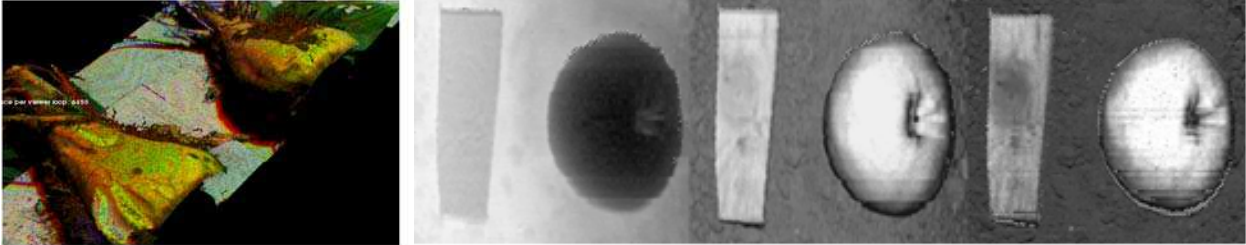
Bei der Linienerkennung wird zunächst der Linienerkennungsschwellwert auf die Daten angewendet. Aus dieser Operation werden Linienanfang und Linienende ermittelt – als Linienposition wird dann wie oben erwähnt die Mitte der beiden Werte angenommen. Anschließend findet die Merkmalsextraktion statt. Die Beschreibungen der extrahierten Merkmale sind in **Tabelle 1** aufgeführt. Die Reflexionsintensität kann insbesondere durch die Merkmale *Line-Width*, *Intensity-Maximum* und vor allem *Intensity-Sum* beschrieben werden. Die *Scatter* Werte ergeben Anhaltspunkte für die Rückstreuung. Alle so beschriebenen Merkmale können mit einem einzelnen Schleifendurchlauf ermittelt werden. Ggf. könnte in der Nachverarbeitung aus diesen numerischen Merkmalen für besonders relevante Bereiche der Scandaten pixelweise ein GL-Fitting stattfinden, aber während des Scanvorganges, zu dem für jeden Pixel der Linienquerschnitt analysiert werden muss, ist so der Rechenaufwand reduziert.

## 6 Ergebnisse

Die Scandaten des MWLP-Systems können als kolorierte Punktwolken oder Abstandsbilder mit entsprechenden Overlay-Bildkanälen dargestellt werden. Die Darstellung ist konfigurierbar, die in **Tabelle 1** aufgeführten Merkmale können als Grauwerte oder HeatMaps skaliert werden oder als Overlays dargestellt werden, wobei entsprechend skalierte Werte verschiedener Merkmale in verschiedenen Farbkanälen übereinandergelegt

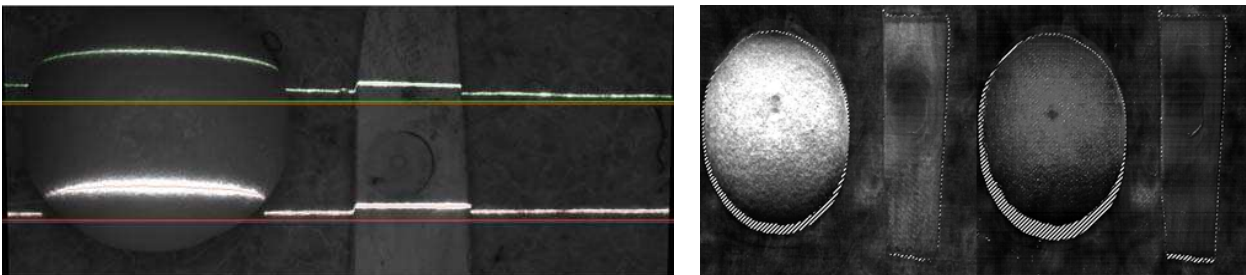


werden. In **Abbildung 9** sind beispielhafte Visualisierungen des Reflexionsmerkmals *Intensity-Sum* sowie der ermittelten Distanzinformationen gezeigt.



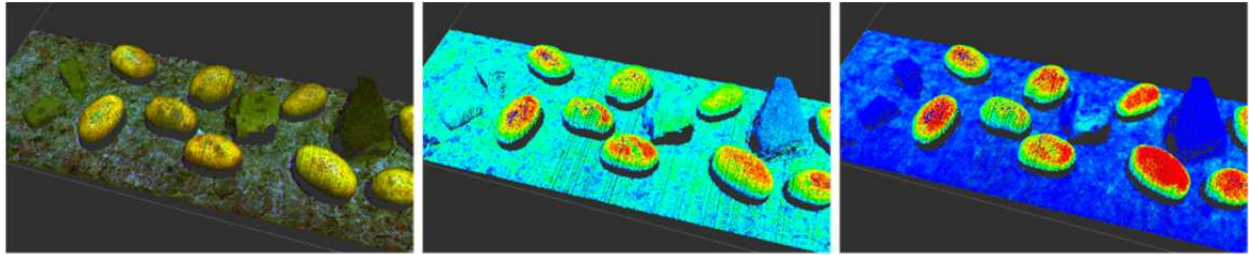
**Abbildung 9:** Beispielhafte Scandaten des MWLP-Systems. Links: Scan von Zuckerrüben als PointCloud. Der Scan erfolgte mit Lasern bei 405, 532 und 650 nm, die Farbkanäle enthalten skalierte *Intensity-Sum* Werte. Rechts: Scan von Apfel und Holzstück, grau-skalierte Tiefenkarte, grau-skalierte, bildgebende *Intensity-Sum* Werte für 850 nm und 650 nm Laser. (STROTHMANN *et al.* 2014).

Auch die Rückstreuungsmerkmale werden bildgebend erfasst und können entsprechend visualisiert werden. Dies ist in **Abbildung 10** zu sehen. Auf der linken Seite ist zu sehen, dass während des Scanvorganges der Laser bei 650 nm durch die Orange stark gestreut wird, weniger durch das Holz. Der Laser bei 532 nm wird in beiden Fällen nicht so stark gestreut. Dies ist in der rechten Hälfte der Abbildung als grau-skalierte Ansicht der MWLP-Scandaten zu sehen, wobei hier die *Scatter-80-Sum* Werte der beiden Laserlinien jeweils grau skaliert sind, wobei eine identische Skalierung genutzt wurde.



**Abbildung 10:** Rückstreuungserfassung und -visualisierung. Links: 2 Laserlinien @532 nm (oben) und @650 nm (unten) beim Scannen einer Orange und eines Holzstückes. Rechts: Grau-skalierte *Scatter-80-Sum* Werte des Scans der Szene für Laser @650 nm (linksseitig) und @532 nm (rechtsseitig) (STROTHMANN *et al.* 2014).

Es wird deutlich, dass sich die Unterschiede in der Stärke der Rückstreuung sowohl zwischen unterschiedlichen Wellenlängen als auch zwischen unterschiedlichen Objekten mit dem MWLP-System auch bildgebend beobachten lassen.



**Abbildung 11:** Scan von Kartoffeln und Steinen als PointCloud mit verschiedenen Farbvisualisierungen

Die Unterschiede in den Rückstreuungseigenschaften sind besonders geeignet, um wasserreiche Objekte von optisch dichten zu unterscheiden. Da Licht insbesondere im Wellenlängenbereich zwischen 600 und 1000 nm in wasserreiche Objekte eindringt (KRAEMMER *et al.* 1995) und die Laserlinien somit stark unter der Oberfläche zurückgestreut werden, unterscheiden sich die Rückstreuungswerte zwischen wasserreichen und optisch dichten Objekten hier besonders stark. Dies wird in **Abbildung 11** dargestellt. Hier sind MWLP-Scandaten von Kartoffeln (wasserreich) und Steinen (optisch dicht) als PointCloud dargestellt. Im linken Bild der Abbildung ist hierbei eine Farbvisualisierung mit den *Intensity-Sum* Werten der Laserlinien bei 405 nm, 532 nm und 650 nm in den entsprechenden Farbkanälen vorgenommen worden. Das mittlere Bild zeigt die gleichen Daten aus der gleichen Perspektive in einer anderen Visualisierung. Hierbei wurden die *Intensity-Sum* Werte des Lasers bei 650 nm als HeatMap skaliert, wobei Blau dem minimalen und Rot dem maximalen Wert entspricht. Das rechte Bild in **Abbildung 11** zeigt eine ebensolche Darstellung als HeatMap, wobei hier nicht die *Intensity-Sum* Werte skaliert wurden, sondern die *Scatter-20-Section* Werte als Rückstreuungsmerkmale. Es wird deutlich, dass insbesondere anhand der Rückstreuungswerte sich die Kartoffeln von den Steinen besonders deutlich unterscheiden.

## 7 Diskussion

Das MWLP-System bietet durch seine flexible Konfigurierbarkeit mit Lasern verschiedener Wellenlängen eine hervorragende Möglichkeit zur Erfassung präziser 3D-Informationen zusammen mit spektralselektiven Reflexions- und Rückstreuungsmerkmalen bei wählbaren Wellenlängen. Die erfassten Daten haben ein hohes Potential für Sensorikanwendungen, wobei es insbesondere in der Lage ist, Rückstreuungsmerkmale bei verschiedenen Wellenlängen nicht nur punktwise sondern bildgebend zu erfassen. Rückstreuungsmerkmale sind insbesondere im Bereich der Qualitätserfassung von Früchten von Interesse, wo (NOH & LU 2007) und (LORENTE *et al.* 2013) vielversprechende Ergebnisse mit punktförmiger Erfassung der Rückstreuung erzielt haben. Die Kombination mit der bildgebenden Rückstreuungserfassung des MWLP-Systems erscheint da eine interessante Möglichkeit zu sein.

Zur Präzision des MWLP-Systems erfolgte Auswertungen haben gezeigt, dass Abweichungen unter 1 mm bei der Distanzmessung und Linienzusammenführung erreicht werden (STROTHMANN *et al.* 2014.). Neben den gezeigten, mit dem MWLP-System auf einem Förderband erfassten Aufnahmen wurde in der vergangenen Saison auch der Einsatz auf einem Roboter zum Scannen von Pflanzen im Feld erfolgreich gezeigt. Erste Versuche zur Klassifikation von MWLP-Sensordaten sind werden zur Zeit durchgeführt. Dies verdeutlicht das hohe Potential des MWLP-Sensorsystems für verschiedenste Anwendungen.

## Danksagung

Das MWLP-System wurde im Kontext der Projekte RemoteFarming.1 (gefördert durch BMEL/BLE) und SmartBot (gefördert durch EU Interreg EDR und Euregio) entwickelt.

## Literaturverzeichnis

- BUSEMEYER L., MENTRUP D., MÖLLER K., WUNDER E., ALHEIT K., HAHN V., MAUERER H.-P., REIF J.C., WÜRSCHUM T., MÜLLER J., RAHE F., RUCKELSHAUSEN A. (2013):** Breed Vision – A Multi-Sensor Platform for Non-Destructive Field-Based Phenotyping in Plant Breeding: *Sensors* 2013(13): 2830-2847.
- KRAEMMER P., BARTELT H., FISCHER H., SCHMAUSS B. (1995):** Imaging in scattering media using phase modulated light sources. *Proc. SPIE* 2326: 65-74.
- LORENTE D., ZUDE M., REGEN C., PALOU L., GÓMEZ-SANCHIS J., BLASCO J. (2013):** Early decay detection in citrus fruit using laser-light backscattering imaging. *Postharvest Biology and Technology* (86): 424-430.
- MUELLER T., LANGMANN B., REITHMEIER E. (2014):** Development of a measurement system for the online inspection of microstructured surfaces in harsh industrial conditions. *Proc. SPIE* 91411F, doi:10.1117/12.2052080.
- NOH H.K., LU R. (2007):** Hyperspectral laser-induced fluorescence imaging for assessing apple fruit quality. *Postharvest Biology and Technology* 43(2): 193-201.
- PAULUS S., EICHERT T., GOLDBACH H.E., KUHLMANN H. (2014):** Limits of Active Laser Triangulation as an Instrument for High Precision Plant Imaging. *Sensors* 2014(14): 2489-2509.
- STROTHMANN W., RUCKELSHAUSEN A., HERTZBERG J. (2014):** Multiwavelength laser line profile sensing for agricultural crop characterization. *Proc. SPIE* 91411K, doi:10.1117/12.2052009.