

# Schnelle Qualitätsbewertung von Früchten mit Hilfe der Bildverarbeitung

*Der Einsatz von bildgebenden Systemen ist in modernen Sortieranlagen für Obst und Gemüse etabliert. In neu verfügbaren Anlagen werden zusätzlich spektroskopische Analysemethoden im sichtbaren und nahinfraroten Wellenlängenbereich zur Produktsortierung auf den Trockensubstanzgehalt und die lösliche Trockensubstanz eingesetzt. Hierbei werden siliziumbasierte Detektoren und Halogenlampen als Lichtquellen eingesetzt, die den Wellenlängenbereich bis 1100 nm abdecken. Der Einsatz von monochromatischen Laserdioden könnte zukünftig eine neue Methode zur Sortierung auf Produktfestigkeit bieten. Dies wurde an Kiwifrüchte erprobt. Im Laboraufbau wurden die drei Klassen „weich“, „premium“ und „hart“ mit einer Messgenauigkeit von 16,3% sortiert. Die Bildverarbeitung mit einem PC benötigte 70 ms pro Bild, so dass sie auch für die kommerzielle online Sortierung geeignet ist.*

Dr. László Baranyai ist Gastwissenschaftler und Dr. habil. Manuela Zude (e-mail: [zude@atb-potsdam.de](mailto:zude@atb-potsdam.de)) ist Wissenschaftlerin am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam.

## Schlüsselwörter

Bildverarbeitung, Laser, Rückstreuung, Sortiertechnik

## Keywords

Image processing, laser, backscattering, sorting lines

## Literatur

Literaturhinweise finden sich unter LT 08304 über Internet [www.landtechnik-net.de/literatur.htm](http://www.landtechnik-net.de/literatur.htm)

Qualitätsbewertung und Klassierung ist essentiell für den Verkauf von Agrarprodukten im Sinne der Handelsnormen. Sortieranlagenhersteller stellen robuste, automatisierte Systeme auch für mechanisch empfindliche Früchte von Kirschen bis Melonen zur Verfügung. Die Sortierkapazität ist hierbei ein Schlüsselfaktor. Im Mittel leisten die Anlage fünf bis zehn Analysen pro Sekunde und Linie. Betrachtet man die Fruchtgröße, ergibt sich eine Fruchtgeschwindigkeit von 2 bis 5 km/h (Gl. 1). Somit erreichen die Sortieranlagen eine Geschwindigkeit, die dem Laufen bis Fahrradfahren entspricht.

$$v_{\min} = 5 \frac{\text{piece}}{\text{s}} \times 120 \frac{\text{mm}}{\text{piece}} = 2,16 \frac{\text{km}}{\text{h}} \quad (1)$$

Die effektive Geschwindigkeit einer Linie ist ein Kompromiss aus erreichbarer Geschwindigkeit und dem Risiko einer mechanischen Beschädigung an den Früchten.

Das Herzstück jeder modernen Sortieranlage ist die Kamera. Zum Erreichen einer hohen Sortierleistung sind mindestens 10 bis 12 fps (Bilder pro Sekunde) notwendig. Die Bildaufzeichnung mit preisgünstigen Digitalkameras erfolgt etwa mit 25 bis 30 fps. Vergleichsweise können high-end Hochgeschwindigkeits-Kameras 5000 fps erreichen, was Sortierung mit Überschallgeschwindigkeit bedeuten würde. Für Hochleistungssortieranlagen ist jedoch die Aufzeichnung von 10 fps nicht ausreichend, da dies das Aufzeichnen von Mehrfachaufnahmen am Produkt nicht erlauben würde. Gerade Mehrfachmessungen sind jedoch sinnvoll, da die Früchte durch die Rollbewegung auf Transporträdern mit geringen Unterschieden in der Geschwindigkeit, im Gegensatz zu Transportbändern, nahezu entlang ihrer gesamten Oberfläche analysiert werden können.

Die Analysequalität im Sortierprozess ist vom Kameratyp abhängig. Schwarz-Weiß-Kameras (Graustufen) werden für die Messung der Fruchtgröße und den Vergleich mit Formvorlagen verwendet. Farbmessungen können mit RGB-Kameras (red, green, blue) erfolgen. Bei der Messung werden mittlere Fruchtfarben und die prozentuale Verteilung, aber auch Defekte bestimmt [1]. Die

Farbsortierung ist für die uniforme Produktpräsentation und hinsichtlich der Konsumentenpräferenzen von hoher Bedeutung. Optische Bandpassfilter werden auf dem Kameraobjektiv eingesetzt, um sensitive Wellenlängen zum Beispiel für Schalenfehler zu detektieren. Darüber hinaus können spezielle Spektralphotometer als Detektoren und Glasfasern zur Lichtleitung eingesetzt werden, die mit hoher Wellenlängenauflösung den sichtbaren und nahinfraroten Wellenlängenbereich scannen. Mit dieser ebenfalls optischen Methode können sogenannte innere Qualitätsparameter wie die lösliche Trockensubstanz bestimmt werden [2].

Der Goldstandard für viele kompakte Ernteprodukte ist jedoch die Fruchtfleischfestigkeit. Weder der spektroskopische Ansatz noch in der Erprobung befindliche akustische und mechanischen Prüfmethode zur Bestimmung der Fruchtfleischfestigkeit geben derzeit einen direkten Aufschluss über den Festigkeitswert, der definiert ist als die maximale Kraft, die für das Auftreten des ersten spontanen Gewebebruchs notwendig ist.

## Bildgebendes Verfahren zur Messung räumlich aufgelöster Rückstreusignale

Die Methode der Rückstreuung weicht von den herkömmlichen bildgebenden Verfahren ab. Die Messung erfolgt in einer abgedunkelten Kammer, wobei ein monochromatischer Laserstrahl geringer Energie auf einen Punkt auf der Fruchtoberfläche gestrahlt wird (Bild 1). Ein Teil der Strahlung wird direkt an der Oberfläche als Fresnel-Strahlung reflektiert. Die verbleibenden Photonen dringen in das Gewebe ein und nehmen ihren Weg durch das Gewebe, wobei sie immer wieder an den Zellwänden und Organellen reflektiert (gestreut) werden. Die Absorption von Photonen im Gewebe ist bedingt durch Pigmente, Zucker, Wasser und andere Inhaltsstoffe. Die Wellenlänge des eingekoppelten Lichtes wird entsprechend der vorliegenden Absorber den Grad der Photonenlöschung im Gewebe beeinflussen. Kürzlich veröffentlichte Arbeiten [3] zeigen, dass Rückstreuungsmessungen im Wellenlängen-

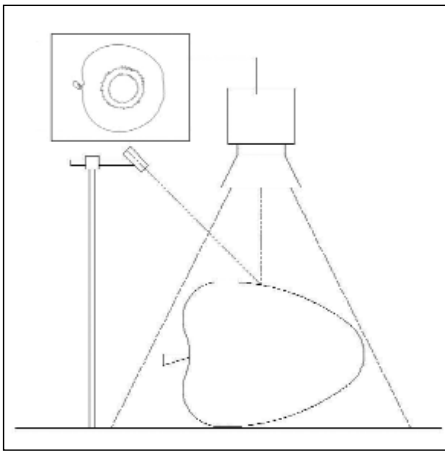


Bild 1: Experimenteller Aufbau der bildgebenden laser-induzierten Rückstreuung

Fig. 1: Typical setup for backscattering imaging

bereich 670 bis 1060 nm wie die Nahinfrarotspektroskopie (NIR) zur Analyse der löslichen Trockensubstanz zu nutzen sind.

Dagegen hängt die Streuung der Photonen von der Zellgröße, dem Brechungsindex sowie den Zelleigenschaften ab. Die Nutzung von Lasern hat den Vorteil, dass monochromatisches Licht mit geringem Abstrahlwinkel gezielt in das Gewebe eingekoppelt werden kann und die räumliche Ausbreitung im Gewebe gut sichtbar ist. Nutzt man Wellenlängen, an denen kaum oder keine Absorptionen auftreten, können mit Hilfe der Rückstreuung spezifische Informationen zur Streuung und somit den Textureigenschaften aufgezeichnet werden.

### Untersuchung an Kiwifrüchten

Im vorliegenden Versuch wurden Laser mit Emission bei 670 nm (Global Laser Ltd., UK) und 785 nm (Newport Corp., USA) eingesetzt. Im roten Wellenlängenbereich konnten somit Daten zur Absorption von Inhaltsstoffen, hier speziell das Chlorophyll, und bei 785 nm Daten zu den variierenden Streueigenschaften erhoben werden. Die Laserenergie betrug unter 50 mW, wodurch keine Beschädigung am Fruchtgewebe erfolgte. Die optische Geometrie wurde auf 0/15° festgelegt. Dieser gegenüber der standardisierten CIE 0/45° Geometrie verringerte

Einstrahlwinkel ermöglichte die Platzierung des Lasers nahe an der Kamera. Es wurde eine 3CCD-Farbkamera (JVC Ltd., Japan) aufgrund ihrer Sensitivität im relevanten Wellenlängenbereich verwendet, mit der ein Bild (768•572 Pixel bei einer geometrischen Auflösung von 0,03 mm/Pixel) pro Frucht aufgezeichnet wurde.

Kiwifrüchte (*Actinidia deliciosa* 'Hayward') wurden analysiert. Die Probe wurde von Personal aus der kommerziellen manuellen Sortierung auf die Festigkeitsklassen „weich“, „Premium“ und „hart“ sortiert. Die Überprüfung der Messgenauigkeit bei der Klassierung auf die Fruchtfleischfestigkeit war das Ziel des Versuches.

Als erster Schritt der Bildanalyse wurden die Farbwerte (R, G, B) in Lumineszenzwerte (L) umgerechnet (Gleichung 2).

$$L = 0,30 R + 0,59 G + 0,11 B \quad (2)$$

Die dynamische Clusteranalyse wurde eingesetzt, um die Segmentierung der Rückstreusignale und ROI (Region von Interesse) durchzuführen. Die Koordinaten der Einstrahlstelle des Laserstrahls wurden anhand der Lumineszenzwerte ermittelt und der gewichtete Mittelpunkt der ROI bestimmt. Die Lumineszenzwerte wurden dann relativ zum Mittelpunkt abgetragen (Bild 2). Drei Verteilungskurven wurden aus den Bildern extrahiert: Mittlere Lumineszenz, maximale Lumineszenz und Varianz bezogen auf den radialen Abstand. Spezifische Kurvenparameter (n = 21) wie Lage des Wendepunktes sowie die Tangente vor und nach dieser Position wurden auf den Werten der ersten Ableitung bestimmt. Diese Vorgehensweise war zeitsparend gegenüber teilweise verwendeten nicht-linearen Fittingmethoden. Die Bestimmung der 21 Parameter benötigte 70 ms für ein Bild mit einem PC (AMD64 Athlon X2, 2.19 GHz), also etwa 14 Bildanalysen pro Sekunde.

### Ergebnisse und Diskussion

Die Fruchtfleischfestigkeit der Kiwifrüchte wurde nach der zerstörungsfreien Bildanaly-

Tab. 1: Fruchtfleischfestigkeit [N/cm<sup>2</sup>] von Kiwifrüchten der Premiumklasse

	Minimum	Mittel	Maximum	Varianz
Original (Sensorisches Panel)	1,492	2,757	7,174	2,079
Optimiert (Bayes)	1,565	2,248	3,122	0,1708

Tab. 2: Ergebnisse der Klassierung mit zerstörungsfreier Bildverarbeitung und herkömmlicher Methode

Bildverarbeitung	Qualitätsniveaus in der Vermarktung		
	Weich	Premium	Hart
Weich	9	2	0
Premium	2	28	7
Hart	2	3	45
Gesamt	13	33	52

Table 1: Maximum force [N/cm<sup>2</sup>] of kiwifruits for grade „premium“

Table 2: Classification results with the non-destructive image processing and standard method based on commercial grades

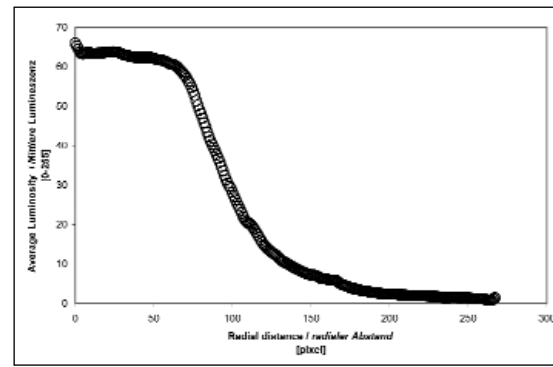


Bild 2: Profil der mittleren Lumineszenzwerte als Funktion des radialen Abstandes vom Einstrahlpunkt am Beispiel einer Kiwifrucht

Fig. 2: Average luminosity profile for a kiwifruit

se zusätzlich zu der Klassierung durch das Sensorische Panel auch instrumentell mit der hierfür üblichen zerstörenden Analyse des Bruchverhaltens des Gewebes durchgeführt. Diese Messungen erfolgten mit einer Werkstoffprüfmaschine (Zwick Materialprüfung, Deutschland), wobei ein zylindrischer Messkopf mit 4 mm Ø und einer Vorschubgeschwindigkeit von 200 mm/min verwendet wurde. Die maximale Kraft wurde am ersten Bruch innerhalb einer Eindringtiefe von 15 mm bestimmt. Auf der Basis dieser instrumentellen Analyse wurden die Schwellenwerte in der Klassifizierung durch das (subjektive) sensorische Panel mit Hilfe des Bayes-Kriteriums optimiert. Die Varianz in der Klassierung nahm durch diesen Optimierungsschritt ab (Tab. 1). Die Anwendung der Schwellenwerte auf eine unabhängige Probe wies auf eine objektivierte Klassierung der Fruchtfleischfestigkeit hin.

Eine multivariate lineare Regression (PLS) wurde mit den Festigkeitsdaten und dem jeweiligen Vektor der Lumineszenzkurve durchgeführt. Das Ergebnis der Kalibrierung wurde als 22ster Parameter verwendet.

### Klassierung der Fruchtfleischfestigkeiten

Die Lumineszenzwerte der laser-induzierten Rückstreuung bei 785 nm wurden für die Diskriminanzanalyse der Kiwifrüchte verwendet. Die Intensität der rückgestreuten monochromatischen Strahlung ist vorrangig durch die Streueigenschaften des Gewebes beeinflusst, während Absorptionen in diesem Wellenlängenbereich nicht zu erwarten sind. Darüber hinaus zeigte das verwendete CCD Sensorarray eine hohe Empfindlichkeit in diesem Bereich. Die Klassifizierung erfolgte linear, wobei aufgrund der relativ geringen Probengröße (n = 98) eine Kreuzvalidierung (leave-one-out) durchgeführt wurde. Die aus den Rückstreubildern ermittelten Parameter führten zu 73,47% korrekt klassierter Früchte. Unter Einbeziehung der PLS-Ergebnisse wurde eine verringerte Ungenauigkeit bei 83,68% korrekt klassierter Früchte festgestellt.

## Literatur

- [1] *Leemans, V., H. Magein and M. -F. Destain*: On-line Fruit Grading according to their External Quality using Machine Vision. *Biosystems Engineering*, 83 (2002), no. 4, pp. 397-404
- [2] *Blasco, J., N. Aleixos, J. Gómez and E. Moltó*: Citrus sorting by identification of the most common defects using multispectral computer vision. *Journal of Food Engineering*, 83 (2007), no. 3, pp. 384-393
- [3] *Qing, Z.S., B.P. Ji and M. Zude*: Predicting soluble solid content and firmness in apple fruit by means of laser light backscattering image analysis. *Journal of Food Engineering*, 82 (2007), no.1, pp. 58-67