

# Simulationsunterstütztes Design von Phänotypisierungssystemen

Franz Uhrmann, Christian Hügel, Michael Schmidt, Günther Greiner

Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen IIS

Am Wolfsmantel 33

91058 Erlangen

franz.uhrmann@iis.fraunhofer.de

christian.huegel@iis.fraunhofer.de

michael.schmidt@lpt.uni-erlangen.de

greiner@informatik.uni-erlangen.de

**Abstract:** Eine automatische, objektive Erfassung und Auswertung phänotypischer Pflanzenmerkmale ist für viele landwirtschaftliche Anwendungen unerlässlich. Für komplexe Pflanzengeometrien ist das Design von Messsystem für diesen Zweck schwierig. Dieser Artikel präsentiert einen Ansatz, mit dem sich Laser-Licht-schnittsysteme virtuell aufbauen, simulieren und bewerten lassen. Dies ermöglicht eine optimale Planung von 3D-Phänotypisierungssystemen, wie am Beispiel eines Scanners für Tabak-Pflanzen gezeigt wird.

## 1 Einleitung

Die Bewertung von Pflanzen ist in vielen Bereichen der modernen Landwirtschaft notwendig, beispielsweise in der Zucht zur Selektion der besten Pflanzen für die Weiterzucht. Dies wird in der Regel visuell nach standardisierten Bewertungsschemata (z.B. [Me01]) durchgeführt, wird jedoch mit fortschreitendem Erfolg in der Zucht schwierig: Durch hochoptimiertes Saatgut sind die Unterschiede einzelner Pflanzen während des Wachstums sehr gering – der Fehler bei der subjektiven Bewertung durch Personal fällt oftmals größer aus als die tatsächlich auftretenden Unterschiede des Pflanzenhabitus.

Daher sind automatische Messsysteme zur standardisierten subjektiven Ermittlung phänotypischer Pflanzenmerkmale erforderlich. Optische Messmethoden wie Laser-Licht-schnitt ermöglichen hierbei eine schnelle, nicht-destruktive und genaue Erfassung der Pflanzengeometrie. Bei einfachen Anwendungsszenarien wie der Erfassung von getrennt stehenden Jungpflanzen mit geringer Blattdichte kann ein Scan-System mit Standardanordnung der Systemkomponenten umgesetzt werden [Sc12]. Bei komplexen Szenarien wie etwa dicht bestockte Pflanzen mit vielen sich gegenseitig abdeckenden Blättern oder Pflanzen mit großer Variabilität während des Wachstums ist es schwierig, eine gute Konfiguration der Systemkomponenten zur möglichst vollständigen Erfassung zu finden.

Um das Laser-Lichtschnitt-Systemdesign für komplexe Phänotypisierungsaufgaben zu vereinfachen, wird im Folgenden ein Ansatz präsentiert, bei dem durch Simulation die schnelle Beurteilung und Bewertung unterschiedlicher Messanordnungen möglich ist.

## **2 Systemdesign durch Simulation**

### **2.1 Oberflächenvermessung mittels Laser-Lichtschnitt-Verfahren**

Das hier verwendete Verfahren zur Erfassung von Oberflächengeometrie ist Laser-Lichtschnitt. Hierbei wird ein Laser durch eine Optik zu einer Linie aufgeweitet und auf das zu vermessende Objekt projiziert, wo sie als Profillinie sichtbar wird. Eine Kamera, welche in einem Winkel zum Laser angebracht ist, erfasst die Profillinie. Durch Triangulation lassen sich deren räumliche Koordinaten rekonstruieren. Die gesamte Objektfläche wird durch Scannen vieler Profillinien durch relative Bewegung des Objektes zu Kamera und Laser erfasst. Der Einsatz von speziellen Lichtschnitt-Kameras ermöglicht zudem eine schnelle Objekterfassung, da diese die Detektion der Profillinie effizient onboard durchführen.

Problematisch beim Laser-Lichtschnitt-Verfahren sind Messausfälle durch Abschattung der Laserlinie oder Verdeckung der Kamerasicht durch das zu vermessende Objekt. Für betroffene Objektregionen können keine Messdaten erfasst werden. Durch Integration mehrerer Laser und Kameras ins System können diese Fehlstellen verringert werden. Allerdings erhöht die Anzahl der Systemkomponenten auch die Möglichkeiten zur Anordnung und somit die Komplexität des Systemsdesigns. Außerdem ist aus Kostengründen oft eine Realisierung mit möglichst wenig Sensorik wünschenswert.

### **2.2 Interaktives Simulationswerkzeug**

Zur Abdeckungsanalyse wurde ein Simulationswerkzeug implementiert. Dies ermöglicht die Anordnung beliebig vieler Laser und Kameras in einer virtuellen Szene. Die physikalischen Parameter der Systemkomponenten wie zum Beispiel Positionierung, Kameraauflösung, Sichtfeld oder Laserintensität können frei parametrisiert werden. Die Geometrie des zu vermessenden Objektes wird als Polygonmodell importiert.

Von der virtuellen Systemanordnung lassen sich anschließend Lichtschnitt-Messungen simulieren und die Abdeckung sowie Messauflösung auf dem 3D-Modell visualisieren. Die Berechnung der Laserlinien-Projektion und deren Erfassung durch die Kamera erfolgt hierbei effizient auf der GPU, so dass die Darstellung der Ergebnisse interaktiv erfolgt. Der Benutzer erhält dadurch bei Änderung der physikalischen Parameter sofort Feedback über die Auswirkung und kann somit schnell unterschiedliche Messanordnungen bewerten.

## 2.3 Generierung virtueller Pflanzenmodelle

Anders als bei industriell gefertigten Objekten, für die geometrische Modelle oftmals in Form von CAD-Daten vorliegen, müssen realistische Polygonnetze von Pflanzen erst generiert werden. Hierfür wurde ein generisches Blattmodell entwickelt, welches sich ausgehend von einer flachen Formschablone durch 26 Parameter geometrisch verformen lässt [Uh13]. Das Verbinden mehrerer Blätter untereinander ist durch Definition einer Verzweigungsstruktur möglich. Mit Hilfe eines grafischen Editors lassen sich somit Pflanzen realistisch nachbilden. Variation der Modellparameter ermöglicht die schnelle Generierung unterschiedlicher Pflanzenmodelle. Weiterhin besteht die Möglichkeit, zwischen Pflanzenmodellen verschiedener Wachstumszustände zu interpolieren und so Variation der Pflanzenstruktur zu modellieren [St13].

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Simulation

Für die Entwicklung eines Phänotypisierungssystems für Tabakpflanzen (*nicotiana tabacum*) wurden mehrere unterschiedliche Pflanzenmodelle für das betrachtete Alter von 3-8 Wochen erzeugt. In der Simulation wurden die Pflanzen jeweils um die Hochachse rotiert und währenddessen hierbei wurden in der virtuellen Szene auf einem Drehteller platziert und während einer Umdrehung gescannt.

Abbildung 1 zeigt das Ergebnis einer virtuellen Messung als Beispiel. Die Erfassung der Pflanze mit nur einem axial ausgerichteten Laser und einer mittig angebrachten Kamera weist noch erhebliche Messausfälle auf (Abb. 1, Mitte). Geeigneter ist die Verwendung von drei Kamera-Ansichten, die mittig und in einem Winkel von  $\pm 50^\circ$  angebracht sind (Abb. 1, rechts).



Abbildung 1: Pflanzenmodell (links). Simulationsergebnis mit einer (Mitte) und drei (rechts) Laser-Kamera-Paaren: Dargestellt sind die erfassten Bereiche der Pflanze.

### 3.2 Realisiertes Messsystem

Abbildung 2 zeigt das Messsystem, welches nach Planung mit dem Simulations-Werkzeug umgesetzt wurde. Es ermöglicht die Vermessung einer Tabakpflanze bis zu einer Größe von 1 m<sup>3</sup> in weniger als 15 Sekunden. Drei Laser-Lichtschnitt-Einheiten werden verwendet, um die Blattoberfläche mit hoher Abdeckung bei einer lateralen und Tiefenauflösung von etwa 0,5 mm zu erfassen. Das Messsystem soll zur Überwachung des Gesundheitszustandes von Tabakpflanzen im Gewächshaus dienen.



Abbildung 2: Realisiertes Messsystem für Tabak-Pflanzen

## 4 Fazit und Ausblick

Anforderungen an das Laser-Lichtschnitt-System wie Abdeckungsgrad, Messgenauigkeit und verwendete Ressourcen können bei der Simulation berücksichtigt und bewertet werden. Dies ermöglicht eine schnelle Messsystem-Planung. Die erreichten Kenngrößen des implementierten Systems decken sich mit der Bewertung der Simulation.

Neben dem Einsatz im Gewächshaus oder Labor ist eine automatisierte Phänotypisierung von Pflanzen im natürlichen Bestand interessant. Hierbei entstehen weitere Nebenbedingungen (z.B. Umgebungslicht oder Bewegung der Pflanze), die zukünftig ebenfalls bei der Simulation berücksichtigt werden sollen. Weiterhin ist die Anpassung und Weiterentwicklung bestehender Bewertungsstandards, die momentan noch auf visueller Bonitur basieren, an die Daten automatischer Systeme erforderlich.

## Literaturverzeichnis

- [Me01] Meier, U.: Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen, BBCH Monografie, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, 2001.
- [Sc12] Scholz, O. et al.: Portable Field Scanner for 3D Plant Phenotyping. In Proc. Of 19th EUCARPIA General Congress, Budapest 2012. S. 363
- [St13] Stocker, Ch. et al.: Inference of structural plant growth from discrete samples. In Proc. 7th Int. Conf. on Functional-structural plant models, Saariselkä 2013. S. 70
- [Uh13] Uhrmann, F. et al.: A Model-based Approach to Extract Leaf Features from 3D Scans. In Proc. 7th Int. Conf. on Functional-structural plant models, Saariselkä 2013. S. 78-80