

# Kostengünstige Pflanzenkamera und Algorithmus zur Spurführung in engen Pflanzenreihen

Volker Dworak, Matthias Hoffmann, Jörn Selbeck

Abteilung Technik im Pflanzenbau  
Leibniz-Institut für Agrartechnik  
Max-Eyth-Allee 100  
14469 Potsdam  
vdworak@atb-potsdam.de  
mhoffmann@atb-potsdam.de  
jselbeck@atb-potsdam.de

**Abstract:** Zur Spurführung kleiner Forschungsroboter entlang eng gedrillter Pflanzenreihen wird ein Sensor benötigt, der die Spurführung präziser ermöglicht als es GPS-Systeme können. Dieser Sensor lässt sich aus einer Pflanzenkamera und einem Korrelationsalgorithmus entwickeln, indem das Kamerabild mit einer Referenzmaske korreliert wird.

## 1 Einleitung

Zunehmend werden Oktokopter oder kleine Forschungsroboter eingesetzt, um lokale Pflanzen- oder Bodenparameter zu erfassen. Hierfür ist es wichtig den Pflanzenreihen zu folgen und nicht unnötig junge und empfindliche Pflanzen durch Überfahren zu beschädigen. Bei einem Drillabstand von z.B. 12 cm ergibt sich eine sehr hohe Anforderung an die Spurführung des Roboters. Da sich in der Praxis gezeigt hat, dass eine einfache Spurführung anhand von GPS-Daten nicht möglich ist [Wu06; Mi08], weil ständig Sprünge im Meterbereich durch Satellitenwechsel, Abschattungen und anderen Signalfehlern erfolgen, müssen weitere Spurführungstechniken ergänzt werden.

Da im ATB eine kostengünstige Pflanzenkamera entwickelt wird, die den NDVI (Normierter Differenz Vegetations-Index) nutzt um ein kontrastreiches Grauwertbild zu erzeugen, bieten sich digitale Bildverarbeitungsalgorithmen an, um eine geeignete Spurführung zu erzeugen. Da Drohnen und kleine Forschungsroboter über kleine Kapazitäten für Platz, Gewicht und Energiebedarf verfügen, wird eine integrierte Lösung auf Basis von Mikrocontrollern oder FPGAs (Feld-Programmierbare Gate-Arrays) benötigt, die diese Bedingungen erfüllen. Hierdurch sind allerdings die Ressourcen hinsichtlich des digitalen Speichers und der Rechengeschwindigkeiten eingeschränkt. Es wird also ein einfacher Algorithmus benötigt der die Datenreduktion, Filterung und Entscheidungsfindung ermöglicht. Zudem werden diese Ergebnisse zukünftig an den Regel- und Steuerungsrechner des Roboters übertragen. Für einen Regelkreis ist die

Vermeidung von Totzeiten und Trägheiten von großem Vorteil, da das Überspringen des Reglers reduziert wird. Nun hat aber jedes Fahrzeug aufgrund der Massenträgheit und Verzögerungen in der Ansteuerung genau diese Nachteile, die nur kompensiert werden können, wenn eine Erwartungshaltung bzw. Vorausschau in die Zukunft möglich ist. Diesen Vorteil bietet die Erfassung der Scene vor dem Roboter durch eine Kamera mit leicht nach unten geneigtem Blickwinkel. In dem Szenenbild sind sowohl die Pflanzen(reihen) unmittelbar vor dem Roboter enthalten, als auch die entfernten. Dies ermöglicht es, nicht nur den aktuellen Regelfehler zu ermitteln, sondern auch noch eine Prognose bzw. Tendenz für den Richtungswechsel vorzugeben. Der Algorithmus nutzt die Kreuzkorrelation zwischen den Bildzeilen und einer Maske, um den Schwerpunkt als Messgröße zu ermitteln. Die Maske kann entweder aus dem Start/Standbild vor der Reihendurchfahrt ermittelt werden, oder es werden vorprogrammierte Masken wie „Winterweizen“ genutzt.

## 2 Methoden

Für den Spurführungssensor wird eine Pflanzenkamera und ein Algorithmus benötigt. Die Pflanzenkamera soll hierbei ein möglichst kontrastreiches Bild liefern, indem sich die Pflanzen deutlich vom Boden abheben. Der Algorithmus soll die Reihen der Pflanzen erkennen und selbst bei begrenzt gestörten Pflanzenreihen sicher die Fahrrichtung festlegen.

### 2.1 Pflanzenkamera

Die Spurführung kleiner Forschungsroboter oder Flugdrohnen erfordert einen sowohl preiswerten aus auch kleinen Sensor für die Realisierung. Kleine Industriekameras für 200 € verfügen oft über einen CMOS-Kamerachip bei dem der IR-Sperrfilter entfernt werden kann. Chips wie der MT9V032STC von Aptina (Aptina Imaging Corporation, 3080 North 1st Street, San Jose, CA 95134, USA) verfügen über eine Lichtempfindlichkeit auch im nahen Infrarotbereich um die 850 nm Wellenlänge (Abb. 1.a)). Da die Farbpixel in einem Bayer-Pattern (Abb. 1.b)) angeordnet sind, ist es technisch sehr aufwendig jedem Pixel einen eigenen neuen Farbfilter zu geben. Wird aber statt dem Infrarotsperrfilter ein Doppelbandpassfilter eingebaut, der die Wellenlängen um 650 nm und 850 nm durchlässt, kann ein Bild mit der Summeninformation aus dem roten Kanal und zwei Bilder mit der reinen 850 nm (nahes Infrarot: NIR) Intensität aus dem blauen und grünen Kanal erzeugt werden. Nach einer Modifikation der Formel für den NDVI, kann dieser aus den RGB-Bildern erzeugt werden.

$$\text{NDVI} = (\text{NIR}-\text{R})/(\text{NIR}+\text{R}) \rightarrow (\text{B}+\text{G}-\text{R})/\text{R} = \text{NDVI}$$

Somit ist es möglich eine Pflanzenkamera mit einem CMOS-Chip zu bauen, die ein helles Bild der Pflanzen liefert und ein dunkles für die Bereiche des Bodens.

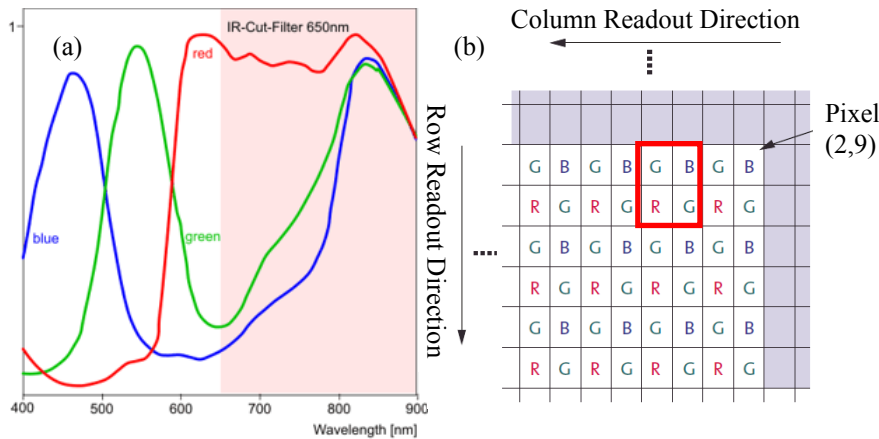


Abbildung 1: Beschreibung der spektralen Empfindlichkeit der RGB-Pixel des MT9V032STC Chips und sein zugehöriges Bayer-Pattern aus dem Datenblatt

## 2.2 Anbau der Pflanzenkamera

Die Pflanzenkamera wird in Fahrtrichtung höchstmöglich mit einem Blickwinkel zwischen Horizont und Fahrzeugkante montiert. Aus der damit verbundenen perspektivischen Verzerrung ergibt sich, dass im unteren Bildabschnitt einige wenige Pflanzenreihen zu sehen sind und im oberen Bildabschnitt viele weitentfernte Pflanzenreihen zu sehen sind. Dies kann optional zur Entfernungsbestimmung genutzt werden. Weiterhin bietet dies den Vorteil, dass die nahe und die entfernte Pflanzenspur zu erkennen ist und somit Spurinformatoren ermittelt werden können, die aus Sicht der Fahrzeit in der Zukunft liegen. Der Regelalgorithmus kann also mit Zukunftsdaten gespeist werden und vermeidet Schwingungen durch die fehlenden Totzeiten.

## 2.3 Reihenerkennung durch die Kreuzkorrelation

Das durch die Pflanzenkamera gewonnene perspektivisch verzerrte Bild wird nun zeilenweise mit einer Maske kreuzkorreliert. Hierfür werden je nach Blickwinkel der Kamera zwischen zehn bis fünfzig Zeilen gemittelt. Es ergibt sich eine lokale Pflanzenreihenfunktion  $p(x)$  über die Zeilenkoordinate  $x$ . Diese kann mit einer Maske  $m(x)$  kreuzkorreliert werden. Die Maske kann aus einer vorgegebenen Referenzmaske bestehen, oder sie kann aus dem ersten Startbild bei der Feldeinfahrt bzw. Orientierung vor der ersten Spur/Fahrt erzeugt werden. Diese Maske wird bei der Kreuzkorrelation über die Pflanzenfunktion durchgeschoben und für jede Position werden alle Einzelwerte multipliziert und dann aufsummiert. An der Position mit dem höchsten Summenwert ist die Maske der Funktion am ähnlichsten. Es ergibt sich also im mittleren Bereich ein Maximum, dessen Halbwertsbreitenmitte als Schwerpunkt bzw. Referenzpunkt für die Regelabweichung von der Mitte genutzt werden kann. Die Maske wird in Abhängigkeit der Bildzeilenhöhe skaliert, da durch die perspektivische Verzerrung die Maske immer schmaler werden muss. Optional kann der Skalierungsfaktor auch im Betrieb dynamisch

angepasst werden. Die Abweichung von der Norm gibt eine Aussage darüber, ob das Fahrzeug sich auf einen Anstieg oder Tal zubewegt. Für Messfahrten, die eine konstante Geschwindigkeit benötigen, kann somit bereits die Bereitstellung von zusätzlicher Energie erfolgen. Je nach geometrischer Anordnung der Kamera liegt der obere Bildabschnitt derart weit weg, dass die Auflösung der Kamera nicht mehr reicht um einzelne Reihen zu trennen.

### 3 Ergebnisse

Wird die Kreuzkorrelation auf die NDVI Bilder der Pflanzenreihen angewendet so ergeben sich bereits genaue Scherpunktsangaben ohne das eine weitere Filterung vorgenommen wurde (Abb. 2). Da die Pflanzenreihen üblicherweise keine Sprünge haben, kann natürlich noch eine Glättungsprozedur auf die einzelnen Ergebnisse des aktuellen Bildes und der Vorhergehenden angewendet werden und eine rauscharme Bahnkurve ermittelt werden.

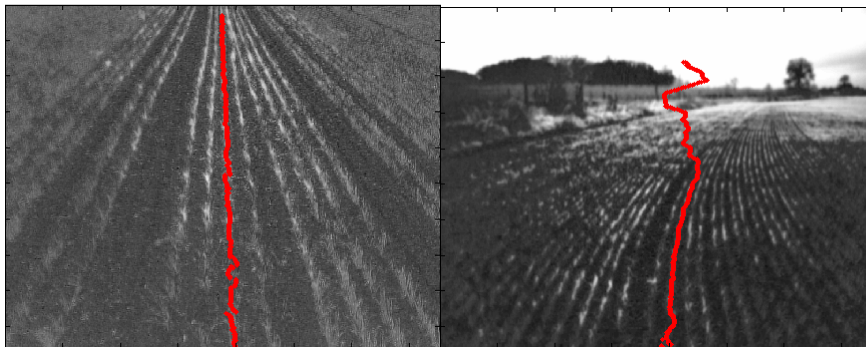


Abbildung 2: Berechnung der Spurposition im Winterweizenreihen aus realen NDVI Bildern

Durch die Filterung mit den Vorhergehenden Ergebnissen und der Ermittlung einer Bahnkurve sollten auch größere Fehlstellen in den Pflanzenreihen überwunden werden können ohne das die richtige Reihe verloren geht. Dies gilt es in nachfolgenden Arbeiten zu ermitteln. Beim Übergang zum Vorgewende geht die Spur verloren und die Korrelationswerte sind niedrig. Trifft dieser Fall mit dem Ende des Feldes aufgrund der berechneten Wegstrecke zusammen, so kann ein Wendemanöver eingeleitet werden.

### Literaturverzeichnis

- [Mi08] Min, M.; Ehsani, R; Salyani, M.: Dynamic Accuracy of GPS Receivers in Citrus Orchards. In Applied Engineering in Agriculture, November 2008. Volume 8, S. 861 – 868
- [Wu06] Wu, C.; Ayers, P. D.; and Anderson, A. B.: Influence of travel directions on the GPS dynamic accuracy for vehicle tracking. Transactions of the ASABE, 2006, Vol. 49(3), S. 623–634.