



Zweidimensionales  
Eingangsmuster durch  
den Spektralapparat

# Snapshot-Hyperspektroskopie

René Michels, Sven Liebsch, Rainer Graser, Cubert GmbH, Ulm

**Ein zweidimensionales Eingangsmuster statt eines eindimensionalen Spalts - das ist die Lösung für die vollflächig hyperspektrale Bildgebung. In weniger als einer Millisekunde Integrationszeit entstehen vollständige Bilddatenwürfel, wodurch sich auch bewegte Objekte aufnehmen lassen. An Bord kleiner unbemannter Flugroboter (UAV) kann diese neuentwickelte Kameratechnik spektroskopische Untersuchungen großer Flächen vornehmen und an Ort und Stelle Auskunft über chemische Zusammensetzung und Strukturen in Echtzeit liefern.**

Spektroskopische Methoden werden in der Fernerkundung und Präzisionslandwirtschaft schon seit Jahrzehnten eingesetzt, um Rückschlüsse zu wichtigen Kenngrößen untersuchter Objekte zu erhalten. So ist beispielsweise in der modernen Landwirtschaft der Chlorophyllgehalt, Wassergehalt, Lignin-Gehalt, der Düngbedarf, die Messung der Biomasse, die Bestimmung der Pflanzenarten und vieles mehr von entscheidender Bedeutung. Für die Aufnahme der erforderlichen bildgebenden Spektraldaten wurden bislang entweder große Trägersysteme wie Flugzeuge oder Satelliten verwendet oder es wird mühsam auf dem Boden mit Punktspektrometern gearbeitet. Hyperspektrale Messungen größerer Flächen waren demnach bisher nur mit hohem Aufwand zu bewältigen, daher kostspielig und rechtfertigt in vielen Fällen den Nutzen nicht. Die Miniaturisierung einer vollflächig abbildenden Spektalkamera und die Adaption an eine Flugroboterplattform verspricht nun eine entscheidende Erleichterung bei der Erhebung von Spektraldaten in vakanten Anwendungsfeldern. Die Vollflächigkeit bietet eine direkte Verortung der Daten, was neben dem Gewicht der entschei-

dende Vorteil gegenüber den üblichen Linien-scannern ist.

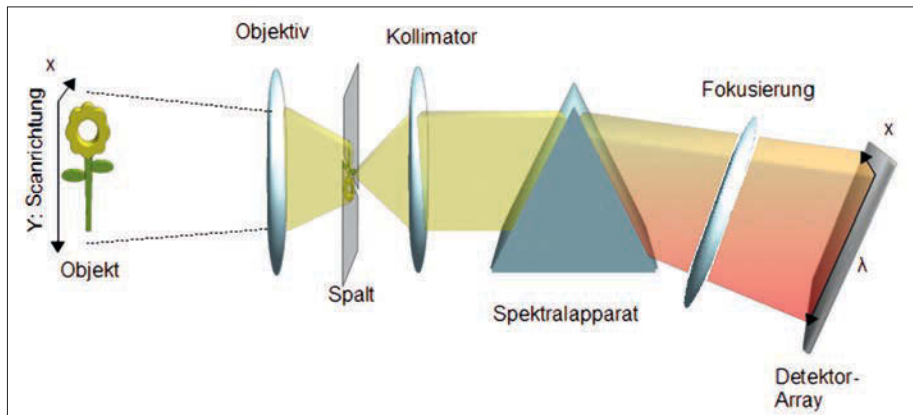
## Der „Spectral Cube“

In der hyperspektralen Bildgebung werden, ähnlich wie bei Farbbildern, mehrere Farbinformationen pro Pixel aufgenommen. Während ein RGB-Bild hierfür drei Kanäle besitzt, weist eine Hyperspektalkamera 100 und mehr Kanäle auf. Dem Bild wird durch den Stapel der vielen Kanäle wie bei einem Würfel eine z-Dimension zugeordnet, daher die gängige Bezeichnung „spectral cube“. Dieser hyperspektrale Würfel deckt je nach Detektor den Spektralbereich des nicht sichtbaren nahen Infrarots und darüber hinaus Teile des mittleren Infrarotbereichs ab. Die Messung bildgebender spektraler Daten geht bisher entweder mit Beschränkungen in der Anzahl der Kanäle oder zeitlichen Einbußen einher. So stellt das multispektrale Imaging eine Kanalerweiterung der Fotografie dar. Ein spektrales Bild mit mindestens 20 Kanälen wird meist mit einem hyperspektralen Zeilenscanner erzeugt (**Bild 1**). Mit jedem Frame des Detektorarrays wird dabei exakt eine Zeile des Objekts spektral aufgenommen. Auf

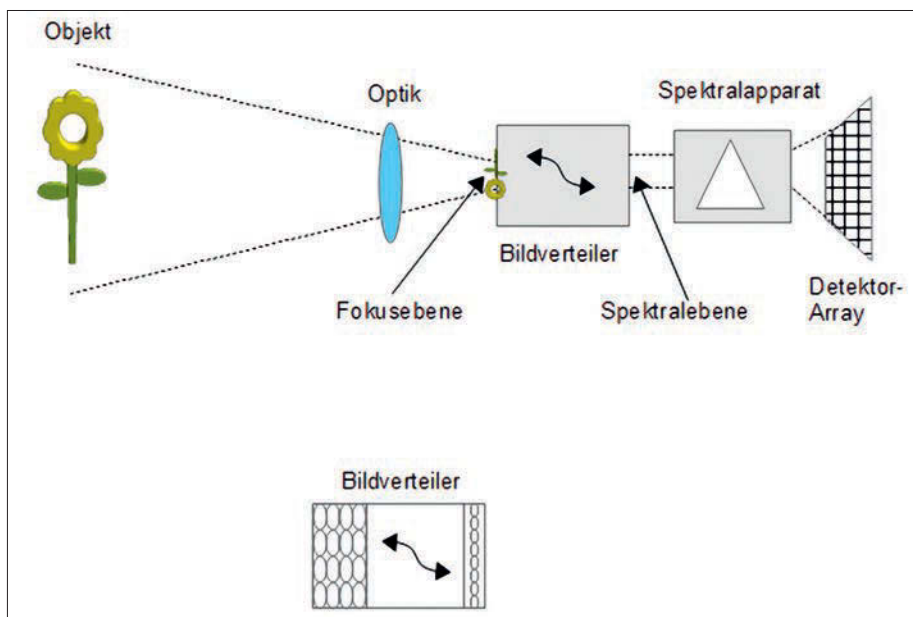
dem zweidimensionalen Detektorarray gibt eine Dimension die örtliche Auflösung und die zweite Dimension die spektrale Auflösung an. Nach einem Scanvorgang ergeben die einzelnen Zeilen ein vollständiges Bild. Für das gesamte Objekt dauert die Aufnahme je nach Bildwiederholrate einige Sekunden bis mehrere Minuten. Schwierigkeiten entstehen wenn sich die Szene bewegt oder wenn die Bewegung des Scanners von der idealen linearen abweicht.

## Snapshot-Spektroskopie

Die neu entwickelte Snapshot-Technik verringert die Integrationszeiten auf unter 1 Millisekunde zur Erzeugung eines vollständigen hyperspektralen Würfels. Dazu wurde ein direkt bildgebendes hyperspektrales Verfahren entwickelt, das sich grundlegend von etablierten Methoden unterscheidet: Statt einem eindimensionalen Eintrittsspalt kommt ein Flächenmuster zum Einsatz, das über ein dispersives Element auf einen CCD-Array abbildet (**Bild 2**). Auf dem Eingangsmuster sind Punkte als Lochmuster verteilt, jeder Punkt erzeugt ein Einzelspektrum auf dem Detektor. Diese Einzelspektren werden wie gewohnt in



**Bild 1:** Hyperspektrale Scanner verzichten zugunsten der spektralen Auflösung auf die y-Dimension des Bildes. Der Spalt wird durch einen Spektroapparat auf ein CCD Array abgebildet, wobei die x-Achse der örtlichen und die y-Achse der spektralen Dimension entsprechen. Durch die laterale Bewegung des Objekts entsteht ein hyperspektrales Bild mit über 100 Kanälen/Pixel



**Bild 2:** Die Cubert Hyperspektralkamera: anstelle eines eindimensionalen Spaltes wird ein zweidimensionales Eingangsgitter verwendet. Der Spektroapparat bildet Spektren aus allen Bereichen des Bildes auf das Detektorarray ab, durch die Rücktransformation entsteht ein vollständiger hyperspektraler Würfel in weniger als einer Millisekunde

die z-Dimension gefaltet, wodurch der spektrale Würfel entsteht. Mit dem zweidimensionalen Pattern gelingt damit auf direktem Wege die Transformation der Messdaten zum dreidimensionalen hyperspektralen Würfel. Entscheidend hierbei ist, die Punkte sinnvoll zu verteilen und damit die Abbildungsqualität konstant zu halten. Die Funktionsweise dieses Messprinzips ist an die sorgfältige Konfektionierung des Eingangsgitters hinsichtlich optischer Anforderungen und Streulichtreduktion gebunden. Mit dem neuen Verfahren wird die abbildende Spektroskopie aus dem Labor an

den Ort des Geschehens gebracht und aufgrund der kurzen Integrationszeiten können sich sowohl Objekte als auch die Kamera während der Aufnahme bewegen. Hyperspektrale Videos mit Frameraten über 20 Hz lassen sich bei gutem Signal-zu-Rausch-Verhältnis realisieren. Dies erhöht die Mobilität und ermöglicht auch bei schnellen Prozessen eine spektrale Bildgebung. Die Arbeit mit der Kamera ähnelt dabei der mit den weitläufig verwendeten monochromen und mehrfarbigen Industriefotografiekameras, wodurch sich Anknüpfungspunkte an robotische Applikationen ergeben.

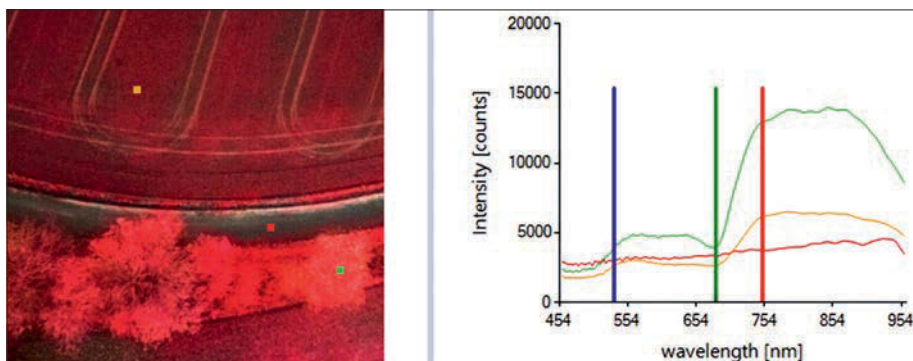
## Optokoptergestützte Messungen

In der Präzisionslandwirtschaft werden spektrale Methoden bereits seit langem eingesetzt und die robotische Befliegung mit unbemannten Flugobjekten befindet sich momentan auf dem Vormarsch. Diese bieten diverse Vorteile gegenüber klassischen Trägersystemen wie Flugzeugen und Satelliten: sie können unter der Wolkendecke fliegen und in niedrigeren Höhen operieren. Auf diese Weise sind kostengünstige und einfach handhabbare Messungen zu jeder Zeit und mit deutlich höherer örtlicher Auflösung möglich.

Die praktische Einsatzfähigkeit eines hyperspektral messenden Flugroboters für verschiedenste Anwendungen in der Präzisionslandwirtschaft wird seit 2013 in Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe von Prof. Bareth vom Institut für Geographie der Universität Köln getestet. Die hierbei eingesetzte Hyperspektralkamera UHD 185 kann prinzipiell an jeden beliebigen Flugroboter ab einem Kilogramm Traglast adaptiert werden. Das Gesamtsystem besteht aus der Hyperspektralkamera samt Optik (470 g) und einem Datenerfassungssystem (360 g). In Zusammenarbeit mit der Firma Height-Tech wird auch eine integrierte Lösung zur hyperspektralen Befliegung, bestehend aus einer UHD 185 und der Drohne HT-8-2000 mit 2000 g Tragkraft angeboten (**Bild 3**). Mit ihren acht Antrieben (Oktokopter) ist bei dieser Drohne eine maximale Antriebsausfallsicherheit gegeben. Die Hyperspektralkamera wird von einer speziellen Kameraaufhängung gehalten, welche elektromechanisch stabilisiert und drehbar gelagert ist. Während des Fluges ist der Beobachtungswinkel beliebig wählbar und störende Seitenwinde können austariert werden. Die Bodenauflösung des Systems kann über die Höhe



**Bild 3:** Bei der hyperspektralen Befliegung werden durch die Snapshot Technologie Bewegungsartefakte vermieden und eine WiFi-Verbindung ermöglicht die hyperspektrale Messdatenauswertung bereits während des Fluges



**Bild 4:** CIR-Falschfarbbild (links) zeigt drei ausgewählte Messpunkte: Wintergerste (gelb), Feldweg (rot) und Buche (grün), mit Spektrum im Bereich von 450 bis 950 nm (rechts)

und Brennweite der Optik beliebig eingestellt werden: Bei 25 mm Brennweite und Höhen von 100 m, 50 m oder 15 m mit Sichtfeldern von 23 m, 11,5 m oder 3,5 m sind diagonale und absolute spektrale Auflösungen von 30 cm, 16 cm oder 5 cm möglich. Die örtliche Auflösung der Hyperspektralkamera ist dabei noch einmal um den Faktor 20 höher.

Während des Fluges erfolgt die Bildaufnahme per WiFi-Verbindung mittels Kamerasoftware, wobei die Datensätze an GPS-Information des Flugcomputers gekoppelt werden. Die Daten (8 MByte/Cube) können bereits während des Fluges zur Bodenstation gesandt werden. Auf dem Kopter werden sie auf der Festplatte des Datenerfassungssystems oder einer SD-Karte gespeichert. Eine Stunde Datenerfassung (mit 2 FPS) verbraucht dabei etwa 60 GB Speicher.

## Datenauswertung

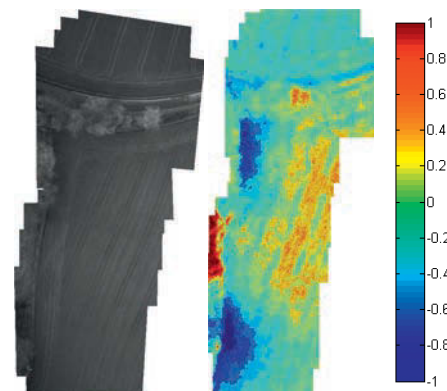
Über die grafische Benutzeroberfläche der Steuersoftware (Bild 4), die auch zur Messdatenaufnahme und für erste Dataanaly-

sen (Bild 5) dient. Zur Programmierung eigener Anwendungen (Bild 6) steht der Quellcode der Benutzeroberfläche in den Programmiersprachen Matlab und Python zur Verfügung. Über Dritthersteller-Software wie z.B. Envi lassen sich die Messdaten georeferenzieren und mit Klassifikationsalgorithmen untersuchen. Aus den georeferenzierten Hyperspektraldaten können zusätzlich mit photogrammetrischen Methoden hyperspektrale Höhenprofile erstellt werden.

## Ausblick

Die luftgestützte vollflächige Hyperspektralbildgebung integriert in leichtgewichtige Flugroboterplattform erschließt vollkommen neue Anwendungsfelder. Die alltägliche luftgestützte Erfassung hyperspektraler georeferenzierter Daten unter Realbedingungen wird damit möglich und es eröffnen sich neuartige Einsatzfelder in der Präzisionslandwirtschaft. In Zukunft ist der Einsatz solcher Systeme zur Ertragsoptimierung und Effizienzsteigerung der Agrarindustrie denkbar.

**Bild 5:** Klassifizierung eines Baumbestands basierend auf einem einfachen spektralen Korrelationsalgorithmus: Rot markiert sind Buchen, die sich aufgrund ihrer spektralen Charakteristik sehr gut von den anderen Baumarten unterscheiden lassen. Auf diese Weise lassen sich schnell auch größere Waldbestände inventarisieren



**Bild 6:** Einfacher Auswertalgorithmus zur Analyse der Messdaten in Matlab: Grauwertbild (links) einer hyperspektralen Befliegung und Berechnung der Pflanzenvitalität von Wintergerste über den Normalisierten Differenzierten Vegetationsindex NDVI (rechts), der von -1 (sehr schlechte Pflanzenvitalität) bis 1 (sehr gute Pflanzenvitalität) schwankt. Deutlich zu erkennen ist das eingeschränkte Wachstum in den Befahrungsschneisen und schattigen Bereichen des Feldes (mittig und links oben)

## Literaturhinweise:

- [1] G. Bareth, J. Bendig, A. Bolten, *Potentials of low-cost Mini-UAVs*, Proceedings of the Workshop on Remote Sensing Methods for Change Detection and Process Modelling, 92: 1-8, 2011
- [2] A. Jung, C. Götze, C. Gläßer, *Overview of Experimental Setups in Spectroscopic Laboratory Measurements – the SpecTour Project*, PFG, 4, 0433-0442. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/1432-8364/20/0129>, 2012
- [3] A.F.H. Goetz, G. Vane, J.E. Soloman, B.N. Rocks: *Imaging spectrometry for earth remote sensing*, Science 228: 1147-1153, 1985
- [4] G. Grenzdörffer, A. Engel, K. Jütte, *Low-cost UAV's in der Land- und Forstwirtschaft – Eine vergleichende Untersuchung von zwei Mini-UAV's*, DGPF-Jahrestagung, Oldenburg, S. 27-36, 2008
- [5] R. Hruska, J. Mitchell, M. Anderson, N. Glenn, *Radiometric and Geometric Analysis of Hyperspectral Imagery Acquired from an Unmanned Aerial Vehicle*, Remote Sensing, 4 (9): 2736-2752, 2012
- [6] C. Yang, J.H. Everitt, M.R. Davis, *A CCD camera-based hyperspectral imaging system for stationary and airborne applications*, Geocarto International 18: 1-80, 2003

## Ansprechpartner:

Dr. René Michels  
Cubert GmbH  
Helmholtzstr. 12  
D-89081 Ulm  
Tel. 0731/1429997  
eMail: [michels@cubert-gmbh.de](mailto:michels@cubert-gmbh.de)  
Internet: [www.cubert-gmbh.de](http://www.cubert-gmbh.de)