

**Zeitschrift:** Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =  
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =  
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

**Herausgeber:** geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und  
Landmanagement

**Band:** 113 (2015)

**Heft:** 9

**Artikel:** UAV-Fernerkundung : neue Sensoren und Anwendungen

**Autor:** Nebiker Stephan / Lack, Natalie / Läderach, Sonja

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-513920>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 08.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# UAV-Fernerkundung: neue Sensoren und Anwendungen

UAVs haben sich in nur wenigen Jahren zu einem Standardwerkzeug zur 3D-Geodaten-erfassung entwickelt. Dabei dominieren bis heute photogrammetrische Anwendungen mit leichtgewichtigen Consumer-Kameras, dies obwohl das Potenzial von UAVs für Fernerkundungsanwendungen schon früh demonstriert wurde. Der UAV-Boom hat mittlerweile die Entwicklung eines ganzen Spektrums von leichtgewichtigen Fernerkundungssensoren ausgelöst. In diesem Beitrag werden ausgewählte leichtgewichtige Multispektral- und Thermal-Sensoren sowie erste Anwendungen und Untersuchungsergebnisse vorgestellt, die das grosse Potenzial sehr hoch aufgelöster Fernerkundung im (Sub-)Dezimeter-Auflösungsbereich bestätigen.

*Les UAV se sont développés en peu d'années en outil standard pour la saisie 3D de données géographiques. Dans ce domaine, jusqu'à présent les applications photogrammétriques dominent avec l'emploi de caméras légères à usage populaire notwithstanding la démonstration, il y a quelque temps déjà, du potentiel des UAV dans l'application de la télédétection. Entre temps le boom des UAV a déclenché tout un spectre de senseurs de télédétection de faible poids. Dans cet article on présente des senseurs multispectraux de faible poids et thermiques ainsi que les premières applications et résultats d'essais qui confirment le potentiel de la télédétection à haute résolution dans la marge de résolution du (sub-)décimètre.*

In pochi anni, gli UAV sono diventati uno strumento standard per il rilevamento dei dati geografici 3D. Fino a oggi dominano le applicazioni fotogrammetriche dotate di fotocamere ultra-leggere e questo benché sia stato dimostrato da tempo il potenziale degli UAV nelle applicazioni di telerilevamento. Nel frattempo, il boom degli UAV ha fatto scattare lo sviluppo di tutta una serie di sensori light per il telerilevamento. In quest'articolo si presentano alcuni sensori multispettrali e termici leggerissimi, nonché le prime applicazioni e i risultati delle ricerche che non fanno che confermare l'enorme potenziale rappresentato dal telerilevamento ad altissima risoluzione nel campo della risoluzione sub decimetrica.

St. Nebiker, N. Lack, S. Läderach,  
K. Hilfiker, E. Matti

Mini- und Mikro-UAVs (unmanned aerial vehicles) in Kombination mit kostengünstigen und leichten RGB-Kameras werden seit einigen Jahren erfolgreich in der Praxis eingesetzt, wobei der Fokus primär auf photogrammetrischen bzw. geometrie-orientierten Fragestellungen lag und nach wie vor liegt. Demgegenüber waren multispektrale oder sogar hyperspektrale Sensoren lange Zeit zu gross und zu schwer für einen Einsatz auf handelsüblichen

UAVs. Vor fast einem Jahrzehnt konnte mit Hilfe selbst entwickelter Forschungsprototypen von Multispektralsensoren das grosse Potenzial sehr hoch aufgelöster UAV-basierter multispektraler Fernerkundung in der Agronomie demonstriert werden (Annen et al., 2007; Nebiker et al., 2008), aber erst seit Kurzem sind nun leichtgewichtige Multispektral- und Thermalsensoren für Mikro-UAVs auch kommerziell verfügbar. In diesem Beitrag werden die Eigenschaften und das Leistungspotenzial neuer kommerzieller Sensoren sowie deren Anwendbarkeit auf ausgewählte praktische Problemstellungen untersucht.

## Instrumentarium

### UAV-Plattform

Für die Untersuchungen wurden Mikro-UAVs vom Typ eBee der Firma senseFly eingesetzt. Es handelt sich dabei um eine sehr leichtgewichtige Starrflügel-Konstruktion mit einem elektrisch angetriebenen Push-Propeller (Abb. 1). Im Vergleich zu Multikopter-UAVs bietet die eBee eine geringere Windanfälligkeit, eine relativ grosse Flächenleistung sowie einen vollautonomen Betrieb, der kaum Pilotenkenntnisse erfordert.

Gewicht (inkl. Kamera)	ca. 700 g
Flügelspannweite	96 cm
Fluggeschwindigkeit	40 – 90 km/h
Windgeschwindigkeit	bis 45 km/h
Max. Flugzeit	
– mit Standardsensoren (*)	max. 50'
– mit multiSPEC 4C (**)	max. 25'

Tab. 1: Spezifikationen eBee. Legende: (\*) Sensoren mit autonomer Stromversorgung, (\*\*) Prototyp-Sensor ohne eigene Stromversorgung.



Abb. 1: eBee Mikro-UAV der Firma senseFly.

## Multispektral- und Thermalsensoren

Untersucht wurden folgende Sensoren: zwei Low-Cost-Systeme Canon S110 NIR (Abb. 2) und S110 RE, ein High-End-System multiSPEC 4C (Abb. 3) in einer Prototypversion sowie der Thermal-Infrarot-Sensor (TIR) thermoMAP (Abb. 4). Die beiden Low-Cost-Systeme entsprechen der verbreiteten Kompaktkamera Canon S110 mit modifizierten Bayer-Farbfiltren. Anstelle

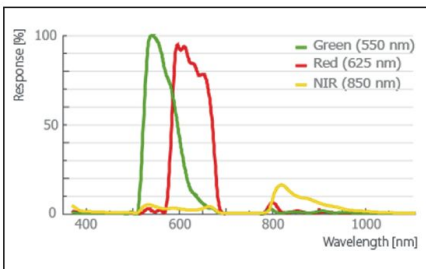


Abb. 2: Canon S110 NIR mit normalisierter Empfindlichkeit der Kanäle G,R und NIR in [%].

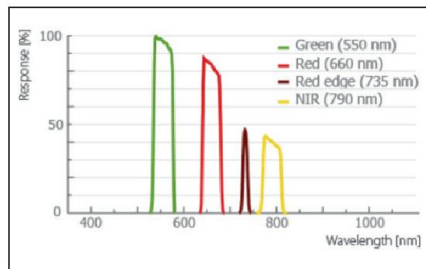


Abb. 3: multISPEC 4C mit normalisierter Empfindlichkeit der Kanäle G, R, Red Edge und NIR in [%].

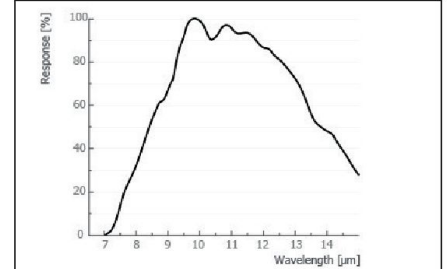
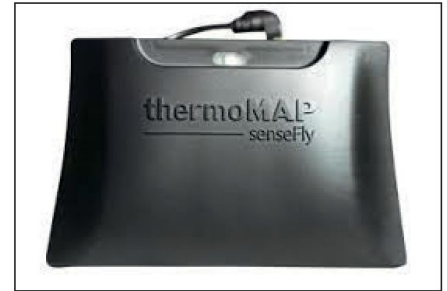


Abb. 4: ThermoMap mit normalisierter Empfindlichkeit in [%].

der üblichen Filter für Blau, Grün und Rot hat beispielsweise das Modell S110 NIR Filter für die Spektralbereiche Grün, Rot und Nahes Infrarot. Da die Farbtrennung direkt am Sensor über Bayer-Filter erfolgt, kann die Kamera als Einkopf-System mit nur einer Optik realisiert werden, mit dem Vorteil exakt co-registrierter Farbkanäle aber dem beträchtlichen Nachteil sich überlappende spektrale Empfindlichkeiten der einzelnen Farbkanäle (vgl. Abb. 2). Im Gegensatz dazu ist die MultiSpec4 ein Mehrkopfsystem mit vier Optiken und vier

monochromatischen CCD-Sensoren. Die Farbtrennung erfolgt hier an der Optik über Bandpass- bzw. Interferenzfilter, wie dies bereits in früheren Multispektralsensoren für UAV realisiert wurde (Nebiker et al., 2008). Über die Spezifikation von Zentralfrequenz und Bandbreite erlauben Bandpassfilter eine trennscharfe Extraktion der gewünschten Spektralbänder (Abb. 3 und Tab. 1). Als Spezialität weist die MultiSpec4 einen zusätzlichen Strahlungssensor in Zenitrichtung auf. Dieser dient als Referenzkanal zur Normalisie-

rung der reflektierten Strahlung, die durch die vier nadirblickenden Spektrosensoren erfasst wird.

Für spektrale Referenzmessungen stand ein kalibriertes, tragbares Feldspektrometer HandySpec Field der Firma tec5 zur Verfügung. Es erlaubt hyperspektrale Punktmessungen im Wellenlängenbereich von 360–1000 nm mit einer spektralen Auflösung von 3.3 nm. Das Feldspektrometer verfügt ebenfalls über einen Referenzkanal im Zenit.

Sensor Eigenschaft	Canon S110 NIR	MultiSPEC 4C Prototyp	MultiSPEC 4C Commercial	ThermoMAP
Geom. Auflösung (Pixel pro Sensor)	12 MP (Bayermuster)	4 Sensoren mit 0.4 MP	4 Sensoren mit 1.2 MP	0.3 MP (640 x 512)
Sensorgrösse [mm]	7.44 x 5.58	4.51 x 2.88 (pro Sensor)	4.8 x 3.6 (pro Sensor)	10.88 x 8.70
Pixelgrösse [µm]	1.33	3.75		17.0
GSD bei 100 m AGL	3.5 cm	20 cm	10 cm	18.5 cm
Spektralkanäle (Zentralfrequenz /Bandbreite opt.) [nm]	G (550) R (625) NIR (850)	G (550 ± 20) R (660 ± 20) RE (735 ± 5) NIR (790 ± 20)		7'000 – 16'000
Preis	ca. 1'000 CHF	Prototyp	ca. 9'000 CHF	ca. 11'000 CHF

Tab. 1: Übersicht untersuchte UAV-Multispektralsensoren.

## Multispektrale Untersuchungen

### Versuchsfelder und agrarische Fragestellungen

Für die technischen und agrarwissenschaftlichen Untersuchungen standen Versuchsfelder des Landwirtschaftlichen Zentrums Liebegg (AG) mit unterschiedlichen Kulturen zur Verfügung. Bei einem beflogenen Rabsversuch (Abb. 5) gehören zu den agrarwissenschaftlichen Fragestellungen einerseits die Bestimmung des optimalen Erntezeitpunkts sowie sorten- und behandlungsabhängige Ertragsabschätzungen. Gleichzeitig diente dieses Testgebiet als Basis für die Sensorvergleiche. In einem zweiten Ver-



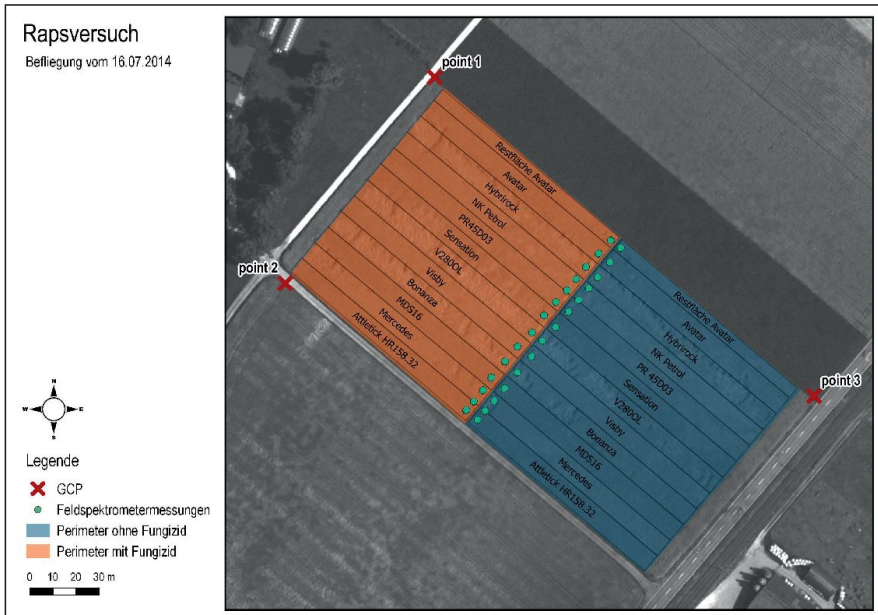


Abb. 5: Raps-Sortenversuch mit Fungizidbehandlung (orange / links) und ohne Behandlung (blau / rechts).

suchsgebiet konnten pro Befliegung gleich drei verschiedene Experimente erfasst werden: ein Weizensortenversuch mit unterschiedlichen Dünge-Strategien, ein Zuckerrübenfeld mit potenziellem Cercospora-Pilzbefall und ein Kartoffel-Sortenversuch mit potenzieller Krautfäule und der Frage nach dem idealen Zeitpunkt der Krautvernichtung. Pro Untersuchungsgebiet wurden drei bzw. sieben Passpunkte signalisiert und mit RTK-GNSS mit einer Lage- und Höhengengenauigkeit von ca. 1–2 cm bestimmt.

### Befliegungen und Datenaufbereitung

Für die Untersuchungen wurden 24 Bildflüge à 20–40' mit 40–900 Bildern pro Flug, einer Gesamtflugzeit von ca. zwölf Stunden und einem Total von 4735 Bildaufnahmen durchgeführt. Dabei kamen sowohl streifenweise als auch gekreuzte Befliegungsmuster zum Einsatz. Die Bodenauflösung (ground sampling distance GSD) betrug zwischen 10 cm und 2.5 cm. Limitierungen ergaben sich beim Einsatz der multiSPEC 4C, da erst ein Prototypsystem mit geringerer Sensordimension, reduzierter Pixelzahl und noch deutlich erhöhtem Stromverbrauch zur Verfü-

gung stand. Für eine detaillierte Zusammenstellung wird auf Läderach (2015) verwiesen.

Die Prozessierung der Bilddaten erfolgte mit der mitgelieferten Standardsoftware Postflight Terra 3D. Für Fernerkundungsaufgaben umfasst die Prozessierung folgende Schritte: Bildorientierung/Bündelblockausgleichung; Generierung eines Oberflächenmodells mittels Dense Image Matching; Orthophotogenerierung und -mosaikierung sowie die Berechnung so genannter Reflectance Maps und die anschließende Ableitung von Vegetationsindizes. Bei der multiSPEC 4C erfolgt vorgängig zur Prozessierung eine radiometrische Kalibrierung der einzelnen Kanäle mittels Aufnahmen einer speziellen

Kalibriertafel. Die erzielbaren geometrischen Genauigkeiten der Bildorientierung waren nicht Schwerpunkt dieser Untersuchungen. Trotzdem wurden gute durchschnittliche mittlere Fehler der Gewichtseinheit  $\sigma_0$  von 0.2–0.3 Pixel bzw. 1.5–4 cm je nach Bodenauflösung erreicht (Nebiker et al, 2015).

### Sensorvergleiche

Um einen direkten Vergleich der mittels Referenzkanals im Zenit normalisierten Messwerte des Mehrkopfsensors multiSPEC 4C mit den belichtungsabhängigen Messwerten der beiden S110 Multispektralsensoren zu ermöglichen, wurde ein geeigneter Index gewählt, der auf dem relativen Verhältnis der Messwerte basiert und der somit ebenfalls eine Normierung vornimmt. Im Falle der S110 NIR wurde dazu der Normalized Difference Vegetation Index NDVI [ $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ ] verwendet. Als Referenz dienten Feldspektrometermessungen bzw. die daraus abgeleiteten Indizes.

Der Vergleich der normierten Indizes aus den Messungen mit der multiSPEC 4C, der S110 NIR Kamera und dem Feldspektrometer als Referenz zeigt eine gute Übereinstimmung für die multiSPEC-Messungen mit einer mittleren Abweichung von der Referenz von -0.040 NDVI-Einheiten, die im Bereich der Streuung der Referenzdaten liegt. Demgegenüber liefert das Low-Cost-System Indexwerte, die im Schnitt um -0.260 zu tief sind (Läderach, 2015). Die zu tiefen Indexwerte des Low-Cost-Systems lassen sich durch dessen überlappende Spektralkanäle

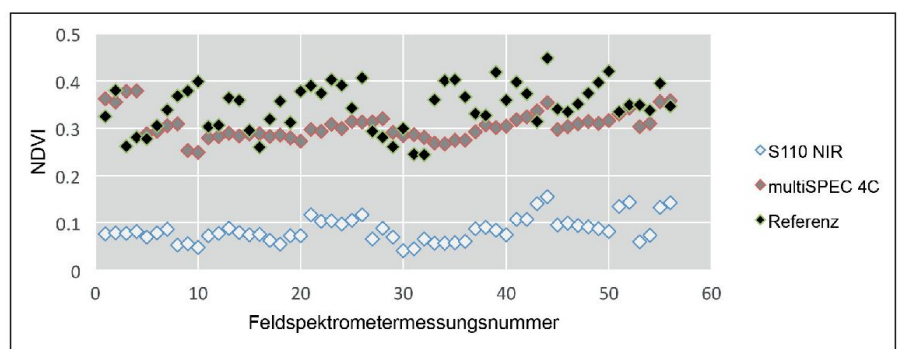


Abb. 6: NDVI-Wertevergleich für multiSPEC 4C, Canon S110 NIR und Feldspektrometer für identische Testplots im Rapsversuch.

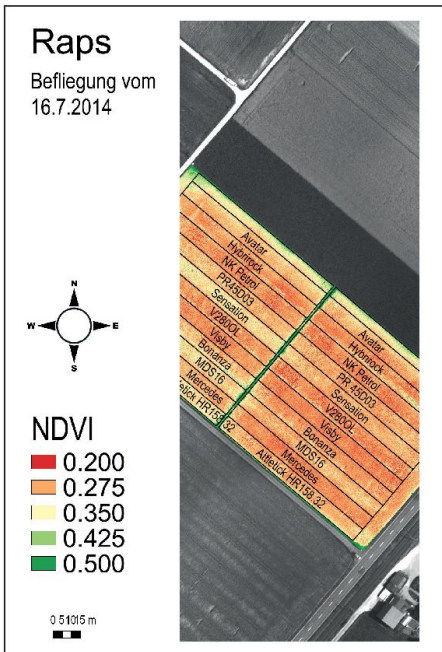


Abb. 7: NDVI-Karte Rapsversuch (MultiSpec 4C, GSD 10 cm).

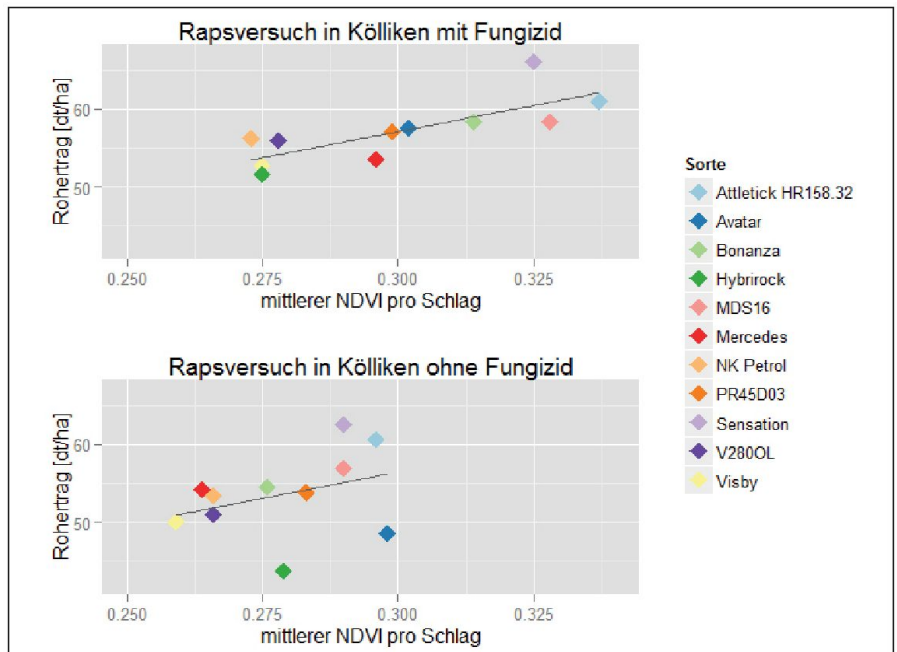


Abb. 8: Roferträge [dt/ha] pro Versuchspartelle und Sorte in Funktion des gemittelten NDVI-Werts pro Partelle (oben: mit Fungizid-Behandlung, unten: ohne Behandlung).

(Abb. 2) und die damit verbundene unscharfe Farbtrennung erklären.

## Ausgewählte Ergebnisse

Im Falle des Rapsversuchs wurden mit verschiedenen Vegetationsindizes einerseits die Pflanzenvitalität sowie deren Korrelation mit den gemessenen Ernteträgen untersucht. Obwohl die Befliegung wegen der schlechten Witterung im Sommer 2014 sehr spät, d.h. erst unmittelbar vor der Ernte, erfolgte, zeigt die NDVI-Karte in Abb. 7 deutliche Vitalitätsunterschiede zwischen den einzelnen Sorten einerseits und eine höhere Vitalität des mit Fungizid behandelten Perimeters (Bildhälfte oben links) gegenüber dem unbehandelten Perimeter andererseits. Die meist höheren NDVI-Werte der behandelten Partellen sind auch in Abb. 8 gut sichtbar. Offenbar führte die Fungizidbehandlung in diesem Fall zu einer Verlängerung der Pflanzenaktivität bis unmittelbar zum Erntezeitpunkt. Die Korrelation zwischen den Ernteträgen und den NDVI-Werten beträgt bei den behandelten Partellen 0.78, bei den unbehandelten nur 0.35. Die detaillierten Ergeb-

nisse für die Weizen- und Kartoffelversuche finden sich in Läderach (2015).

## Erste Untersuchungen mit Thermal-Infrarotaufnahmen

UAV-basierte Aufnahmen im Thermalen Infrarotbereich (TIR) weisen ein noch weitgehend unerschlossenes Einsatzpotenzial auf. Zu den interessanten Anwendungen gehören grossflächige oder gebäudespezifische thermische Energieanalysen, die Qualitätssicherung bzw. Schadensdetektion bei Solaranlagen oder etwa die Kartierung von Nässe oder Trockenheit in der Agronomie. Mit Hilfe des thermoMAP TIR-Sensors (Abb. 4 und Tab. 1) soll dieses Potenzial am IVGI untersucht werden. Dazu wurden am 13. März 2015 unmittelbar vor und nach Sonnenaufgang zwei TIR-Befliegungen mit einer GSD von 15 cm und 30 cm durchgeführt. Diese wurden ergänzt durch eine RGB-Befliegung des Gesamtperimeters mit einer Canon S110 und einer GSD von 5 cm. Die RGB- und die TIR-Bilddaten wurden mit Postflight Terra 3D prozessiert. Erste Resultate aus diesen

Befliegungen sind in Abbildung 9 bis 11 aufgeführt. Abbildung 9 zeigt einen Ausschnitt aus dem 15 cm Thermalinfrarot-Orthophoto. Abbildung 10 enthält eine Detailansicht eines fusionierten 5 cm TIR-Orthophotos, in welchem die Original-TIR-Bilddaten mit Hilfe der 5 cm-RGB-Bilddaten und einem so genannten Resolution Merge geschärft wurden. Schliesslich zeigt Abbildung 11 eine mittels Dense Image Matching vollautomatisch erzeugte 3D-Dachlandschaft mit einer überlagerten TIR-Bildtextur. Zum Befliegungszeitpunkt wies die thermoMAP-Kamera noch Firmware-Probleme auf, die eine absolute Kalibrierung und damit eine Konvertierung der Messwerte in absolute Temperaturen verunmöglichten. Daher erlauben die erzeugten TIR-Orthophotos erst relative Aussagen über das beobachtete Strahlungsverhalten.

## Fazit und Ausblick

Neue Fernerkundungssensoren für UAVs ermöglichen die Erforschung und praktische Erschliessung neuer Anwendungsmöglichkeiten ausserhalb der bereits



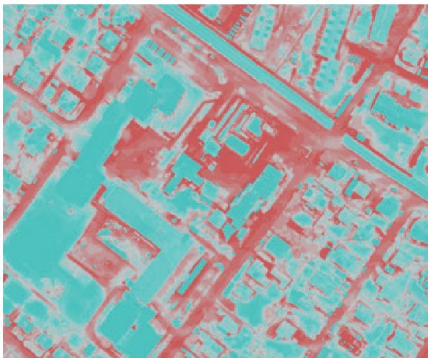


Abb. 9: TIR-Orthophoto mit einer GSD von 15 cm (blau = kalt; rot = 'warm').

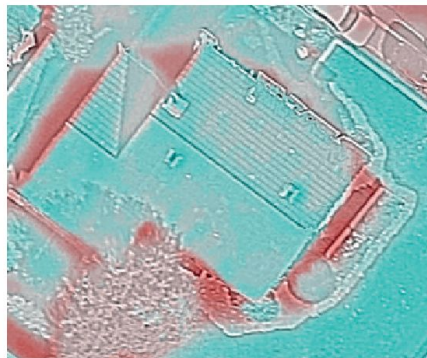


Abb. 10: TIR-Orthophoto pan-sharped mit GSD von 5 cm.

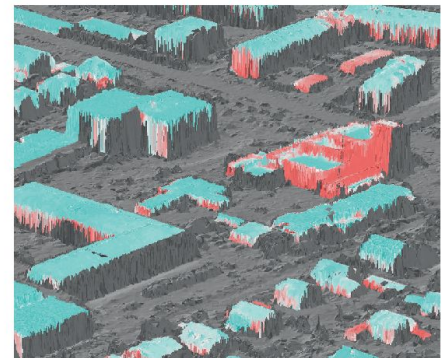


Abb. 11: 3D-Dachlandschaft, bestehend aus DOM mit TIR-Texturen.

etablierten UAV-Photogrammetrie. Die vorgestellten Untersuchungen demonstrierten die Praxistauglichkeit der unterschiedlichen Multispektralsensoren für ausgewählte agronomische Fragestellungen. Die Untersuchungen zeigen auch auf, dass der professionelle Multispektralsensor multiSPEC 4C sehr gute Messwerte liefert, die bei unterschiedlichen Witterungs- bzw. Beleuchtungsbedingungen gut mit den Feldspektrometer-Referenzmessungen übereinstimmen. Der Einsatz eines professionellen Sensors erlaubt somit beispielsweise ein Vegetationsmonitoring über mehrere Epochen – auch ohne aufwändige und kostspielige Referenzmessungen mit Feldspektrometern. Mit weiteren Befliegungen und Untersuchungen zum Einsatz der multispektralen UAV-Fernerkundung in der Agronomie und zu neuen Anwendungsmöglichkeiten der TIR-Daten sollen die bisher gewonnenen Erkenntnisse validiert und auf weitere Anwendungsfelder übertragen werden. Spannende Fragestellungen betreffen das Potenzial extrem hoch aufgelöster Multispektraldaten mit Pixelgrößen im cm-Bereich auf Gemüsekulturen mit teilweise sehr feinem Blattwerk. Parallel zu den Untersuchungen in der optischen

UAV-Fernerkundung laufen am Institut Vermessung und Geoinformation Aktivitäten zur Entwicklung und Erprobung UAV-basierter Radar-Sensoren, die sich beispielsweise zur Minensuche einsetzen liessen, die aber extrem hohe Anforderungen an die Sensorpositionierung stellen.

Hinweis: Dieser Beitrag ist ein erweiterter Auszug aus «Neue leichtgewichtige Multispektralsensoren für Micro-UAVs - Sensorvergleiche und Leistungsuntersuchungen in der Agronomie» von Nebiker et al. (2015).

#### Literaturverzeichnis:

Annen, A., Nebiker, S., Oesch, D., 2007: Einsatz von Mikro- und Minidrohnen für Fernerkundungsaufgaben in der agrochemischen Forschung und Entwicklung. Dreiländertagung der SGPBF, DGPF und OVG: Von der Medizintechnik bis zur Planetenforschung – Photogrammetrie und Fernerkundung für das 21. Jahrhundert. FHNW, Muttenz: DGPF Tagungsband Nr. 16, pp. 399–406.

Läderach, S., 2015: Fernerkundung in der Agronomie mit Micro-UAV und neuen leichtgewichtigen Multispektralsensoren. Masterthesis. FHNW Fachhochschule Nordwestschweiz.

Nebiker, S., Annen, A., Scherrer, M., Oesch, D., 2008: A Light-weight Multispectral Sensor for Micro UAV – Opportunities for Very High Resolution Airborne Remote Sensing. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Beijing, China: ISPRS, pp. 1193–1200.

Nebiker, S., Läderach, S. & Matti, E., 2015. Neue leichtgewichtige Multispektralsensoren für Micro-UAVs - Sensorvergleiche und Leistungsuntersuchungen in der Agronomie. In 35. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF – Bridging Scales - Skalenübergreifende Nah- und Fernerkundungsmethoden. Köln, pp. 35–44.

Stephan Nebiker  
Natalie Lack  
Sonja Läderach  
Kevin Hilfiker  
Eric Matti

Institut Vermessung und Geoinformation  
Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW  
Gründenstrasse 40  
CH-4132 Muttenz  
stephan.nebiker@fhnw.ch