

Entwicklung eines neuartigen, räumlich hochauflösenden, flugzeuggestützten multispektralen Umweltmesssystems zur Erfassung von Landoberflächen

MARVIN GABLER¹, JOSEF PALMER¹, SOPHIE PROKOPH¹, UWE KNAUER¹,
MARION PAUSE¹, HENRIK POHL² & LUTZ BANNEHR¹

Zusammenfassung: Im Rahmen des durch das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) geförderte Forschungsprojektes „MUMS-6“, mit dem Projektträger der AiF Projekt GmbH wurde in den letzten drei Jahren eine Airborne Multispectral Camera (AMC-6) entwickelt. Die AMC-6 ist für Bildflugunternehmen konzipiert und kann in Flugzeugen und Helikoptern als stand-alone System betrieben werden oder Airborne Laserscanning-Befliegungen ergänzen. Das System ist mit sechs hochauflösenden Kameras ausgestattet, eine RGB-Kamera und fünf monochrome Kameras. Die fünf monochromen Kameras können anwendungsspezifisch mit verschiedenen Schmal- oder Breitbandinterferenzfiltern ausgestattet werden und erreichen bei Flughöhen von 1000 m eine räumliche Auflösung von 10 cm. Durch die Auswahl verschiedener Filtersatz-Konstellationen wird der Zugang zu unterschiedlichen Anwendungsbereichen wie der Kartierung von Bestandsdaten, der Waldzustandsüberwachung, dem Precision Farming, der Ermittlung von Gewässerqualität oder der Erstellung von 3D-Stadtmodellen ermöglicht. Im Weiteren werden das System und Anwendungsbereiche präsentiert.

1 Einleitung

Die flächendeckende Datenbereitstellung über Zustand und Veränderungen der Landoberfläche mittels satellitenbasierter Fernerkundung hat in den vergangenen zwei Dekaden enorme Fortschritte erzielt. Zahlreiche Erdbeobachtungsmissionen wurden realisiert und befinden sich in der Planung für die Bereitstellung eines satellitenbasierten Langzeitmonitoring der globalen Landoberfläche (WULDER et al. 2022; PHIRI et al. 2020). Die Stärken der satellitenbasierten Erdbeobachtungsmissionen liegen vor allem in der zeitlich regelmäßigen und flächendeckenden Datenbereitstellung. Diesen Vorteilen stehen im Hinblick auf lokale und regionale Anwendungen die oftmals mangelnde räumliche Auflösung und zeitliche Unflexibilität (z. B. im Katastrophenfall) als einschränkende Kriterien gegenüber.

Exakt an diesen Kriterien haben flugzeuggestützte Fernerkundungskampagnen ihre Stärken. Mittels geeigneter Sensorik und Flugplanung ist es möglich, zeitlich sehr flexibel Daten mit sehr hoher räumlicher Auflösung zu akquirieren, welche unmittelbar in praktische Anwendungen überführt werden können. Flugzeuggestützte Fernerkundungskampagnen schließen damit eine Lücke im Monitoring zwischen Satelliten und in-situ Geländebeobachtungen (PAUSE et al. 2016).

Multispektralsensoren zählen zu den Technologien der Fernerkundung mit dem weitesten Einsatzgebiet und liefern beispielsweise durch die Landsat Satellitenmissionen bereits seit 1978 globale Daten über den Zustand der Landbedeckung und Landnutzung. Die Daten und Datenprodukte von Multispektralsensoren sind sehr robust für die Differenzierung von Objekten der

¹ Hochschule Anhalt, FB3 AFG, Bauhausstraße 8, D-06846 Dessau, E-Mail: [Marvin.Gabler, Josef.Palmer, Sophie.Prokoph, Uwe.Knauer, Marion.Pause, Lutz.Bannehr]@hs-anhalt.de

² Airborne Technical Systems, Rheinsberger Str. 59, D-10115 Berlin, E-Mail: hp@ats-berlin.de

Landoberfläche und liefern insbesondere Informationen über den Vegetationszustand. Durch eine ausgewählte spektrale Konfiguration eines multispektralen Messsystems können gezielt Vegetationseigenschaften, Wasserqualität, Bodeneigenschaften und urbane Strukturen analysiert und Parameter räumlich kartiert werden, wie z. B. Trockenstress, Eutrophierungsgrad, Vegetationsartenklassifikation und Bodenfeuchte-indikatoren (CANDIAGO et al. 2015). Aus diesem Grund besteht in der Praxis der Bedarf an einem flugzeuggestützten multispektralen Messsystem, welches durch bereits gezielte spektrale Konfiguration und einem breiten Markt / Anwendern zugänglich ist. Zu den Nutzergruppen zählen z. B. Luftbildfirmen, Landesvermessungsämter, Umweltbehörden, Behörden und Dienstleister der Land- und Forstwirtschaft. Das Interesse und die Kenntnis über die Anwendungsmöglichkeiten flugzeuggestützter multispektraler Messsysteme ist bei potentiellen Anwendern sehr groß. Neben der generellen Systemverfügbarkeit stellt der recht komplizierte Auswerte-Workflow eine praktische Limitierung dar. Um Multispektraldaten für die Praxis zugänglich zu machen und die Akzeptanz neuer Anwendergruppen zu gewinnen, ist es erforderlich, i) diesen Auswerte-Workflow einfach zu halten, und dabei ii) die Aussagekraft der Datenprodukte robust und wissenschaftlich basiert zu entwickeln.

Auf Grundlage der beschriebenen Problemstellung und Anforderungen an die Entwicklung ergeben sich daher zwei zentrale Forschungskomplexe für dieses Vorhaben:

- 1) Entwicklung eines flugzeuggestützten multispektralen Messsystem
- 2) Bereitstellung eines anwenderfreundlichen Auswerte-Workflows

Im Rahmen dieses Beitrages wird der aktuelle AMC-6 Entwicklungsstand dargestellt. Es werden Datensätze der ersten experimentellen Befliegungskampagnen präsentiert und zentrale Aspekte der weiteren Entwicklungsarbeit aufgezeigt.

2 Multispektrale-Fernerkundungssysteme

Seit einigen Jahren sind durch die rasche technische Entwicklung verstärkt Drohnen auf dem Markt verfügbar, welche speziell konzipierte RGB-, Thermal- bzw. Multispektralkameras tragen können. Bei diesen Kameras handelt es sich um Systeme unter 500 g Sensorgewicht, mit dem Nachteil, dass sie nur eine geringe räumliche Auflösung aufweisen (COLOMINA & MOLINA 2014). Drohnen, ausgestattet mit Multispektralkameras, sind aufgrund der Akkuleistung und behördlichen Vorschriften nur kleinräumig in ländlichen Gebieten einsetzbar. Große Flächen, wie sie von Bildflugunternehmen geflogen werden (> 40.000 km²/Jahr), können nicht mit Drohnen beflogen werden.

Da aufgrund der geringen Flughöhe von Drohnen keine größeren Areale beflogen werden können, sind diese Systeme für den kommerziellen Anwendungsbereich und deren geltende Restriktionen i. d. R. nicht geeignet. Praktische Anforderungen beinhalten räumliche Auflösungen von 10 cm aus einer Flughöhe von 1000 m, welche dadurch z. B. flexibel mit weiteren Fernerkundungsprodukten (z. B. DOP, DGM) der nationalen Landesvermessungsbehörden kombiniert werden können.

Flugzeuggetragene Hyperspektralscanner werden weltweit fast ausschließlich von Forschungseinrichtungen betrieben und dienen u. a. dem proof-of-principle für den Einsatz von hyper- und multispektralen Daten. Da die hyperspektrale Datenprozessierung sehr komplex ist

und der Einsatz von Hyperspektralscannern ein Trägheitsnavigationssystem erfordert, ist die Wirtschaftlichkeit für die Praxis meist nicht gegeben.

Für einen großen Teil des Umweltmonitorings werden meist nur fünf spektrale Kanäle benötigt, um vegetationspezifische Merkmale mittels Spektraloperatoren oder Indizes herauszuarbeiten (LU et al. 2019). Daher sind komplexe Hyperspektralsensoren nicht notwendigerweise erforderlich, sofern die Auswahl der Spektralkanäle im Vorfeld anwendungsspezifisch erfolgt.

3 Airborne Multispectral Camera „AMC-6“

Im Zeitraum 2021 – 2023 wurde im Rahmen der Entwicklungskooperation eine räumlich hochauflösende Multispektralkamera entwickelt, welche für Umweltmonitoring und anwendungsbezogene Forschung zur Verfügung steht. Dabei ist die AMC-6 als luftgetragenes System (Airborne System) für Messflugzeuge konzipiert. Abb. 1 zeigt die AMC-6 mit der angebrachten austauschbaren Filterplatte und repräsentiert den aktuellen Entwicklungsstand der Hardware.



Abb. 1: Links: AMC-6 mit austauschbarer Filterplatte. Rechts oben: AMC-6 System mit Rechen- und Stromeinheit in Halterungsrahmen. Rechts unten: Spezifizierbare Filterplatte der AMC-6

Aufgrund der technischen Spezifikationen der AMC-6 können nun hochauflösende RGB- und Laserscannerdaten mit geometrisch hochauflösenden Multispektraldaten im Rahmen einer multi-sensoralen Befliegung ergänzt werden. Mit einem Gewicht von 25 kg ist die Kamera nicht an Drohnen einsetzbar. Die räumliche Auflösung beträgt 10 cm/pix bei einer Flughöhe von 1000 m (3280 ft) und bietet damit eine wertvolle Kombinationsmöglichkeit mit den flächendeckend verfügbaren DOP Daten.

Das System besteht aus fünf monochromen hochauflösenden global Shutter Kameras (31.4 MP) und einer hochauflösenden RGB-Kamera, die jeweils mit Schmal- oder Breitbandfiltern ausgestattet sind. Die Multispektralkanäle sind für den Nutzer je nach Aufgabenstellung spezifizierbar, sodass neben Vegetationseigenschaften auch Wasserinhaltsstoffe und urbane Parameter abgeleitet werden können. Ferner kann das Kamerasystem auf die typische Schwadbreite von anderen Messsystemen, wie Airborne Laser

Scanner, durch Austausch von Objektiven optimiert werden, wodurch sich unterschiedliche Öffnungswinkel bzw. Bodenauflösungen erzielen lassen. Durch die verschiedenen multispektralen Bänder ist das Kamerasystem für das Umweltmonitoring, die Kartierung von Bestandsdaten, die Waldzustandsüberwachung, das Precision Farming, die Ertragsschätzung, die Ableitung von Wasserinhaltsstoffen, die Erstellung von 3D-Stadtmodellen, die Ableitung von digitalen Oberflächenmodellen (DOM, DGM, etc.) und vielem mehr einsetzbar.

Mit der AMC-6 wird die Lücke zwischen den teuren, komplexen Hyperspektralsystemen (ca. 200.000 €) und den einfachen multispektralen Systemen, entwickelt für Drohnen (ca. 10.000 €), geschlossen.

Zur Steuerung der Kameras dient ein Datenerfassungssystem, welches auf einem Intel 7 Prozessor aufbaut. Die Kommunikation, Triggerung sowie die Speicherung der Bilddaten erfolgt über Giga Ethernet mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von 10 Gbit/s. Hierfür wurden Software Steuerungsroutinen für das Gesamtsystem entwickelt. Die Datenspeicherung erfolgt auf drei austauschbaren 1 TB SSD-Datenträgern, welche erweiterbar sind. Zudem verfügt das System über zwei USB 3.0-, einen HDMI-, zwei 24 V Stromversorgungsanschlüsse und jeweils einen Anschluss für die Stromzufuhr und das Flugmanagementsystem. Durch Kippschalter lassen sich einzelne Kameras zu- sowie abschalten. Die kürzeste Bildwiederholungsrate liegt bei 1 Hz. Weitere technische Parameter sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Technische Parameter des entwickelten multispektralen Umweltmesssystems AMC-6

Technische Parameter AMC-6	
Hochauflösende Kameras:	5 x FLIR Oryx ORX-10G-310S9M (Monochrom) 6464 x 4852 px (31,4 MP) 1 x FLIR Oryx ORX-10G-310S9C (RGB) 6464 x 4852 px (31,4 MP)
Pixelgröße:	3,45 µm
Pixelanzahl:	184 MP
Brennweite:	50 mm (adaptierbar)
Spektralbereich:	350 – 950 nm
Beobachtbarer Bereich:	8-Bänder (adaptierbar), 5 monochrom, 1 x RGB
Durchlässigkeit zentrale Wellenlänge:	> 85 %
Transmissionsgrad Grenzwellenlänge:	< 0.1 %
Kürzeste Wiederverwertungszeit:	1.0 s
Wechselbare Festplatten:	SSD 3 x 1 TB (adaptierbar)
Betriebsspannung:	22 V bis 30 V
Stromverbrauch max.:	400 W
Stromverbrauch im Betrieb:	300 W
Gesamthöhe:	460 mm
Höhe des Kamerakopfes:	360 mm
Breite des Kamerakopfes:	360 mm
Durchmesser der Kamera:	275 mm
Gewicht:	25 kg
Ausrüstungszubehör	
Individuelle Spektralfiltersets	
Monitor für den Operator	
Kabel für die Stromversorgung	
Verbindungskabel für die Flugmanagement-Software	

4 Experimentelle Kampagne

In dem folgenden Kapitel werden der Einbau in die Trägerplattform der Hochschule Anhalt und das Untersuchungsgebiet “Gommern” im Rahmen der ersten Testbefliegung vorgestellt. Dabei wird die Adaptionfunktion der Multispektralkamera für die Integration in stabilisierende Plattformen und somit weiteren Trägerplattformen aufgezeigt. Zudem erfolgt die Beschreibung der Aufnahmeregistrierung für den Auswerte-Workflow der AMC-6.

4.1 Trägerplattform

Als Trägerplattform für die Entwicklung und Validierung der Multispektralkamera (AMC-6) wird der hochschuleigene Forschungsgyrocopter „D-MHSA“ vom Typ Cavalon genutzt. Der Gyrocopter wird in die Ultraleichtflugzeug (kurz UL) Klasse eingeordnet. Er besitzt eine geschlossene Bauweise mit zwei Sitzplätzen nebeneinander und einer Bodenluke. Für die Bildmessflüge wird anstelle des Passagiersitzes die Messsensorik zur Positions- und Lagebestimmung sowie zur Stromversorgung, Datenspeicherung und Bilddatenerfassung eingebaut. Damit die gesamte benötigte Messtechnik fest im platzbeschränkten Gyrocopter eingebaut werden kann, wurde eine spezielle Halterung entwickelt (siehe Abb. 2).

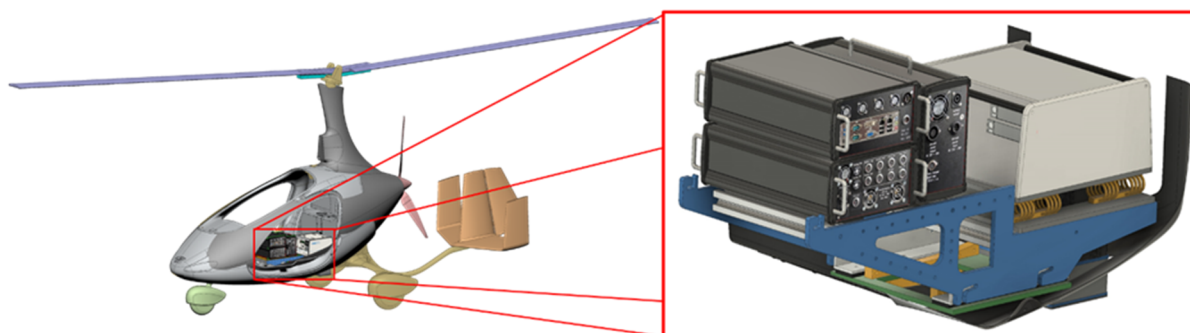


Abb. 2: 3D-CAD Zeichnung der Trägerplattform Gyrocopter D-MHSA (links) und des Prototyps der AMC-6 mit Rechen- und Stromversorgungseinheit (rechts)

Das Messsystem wird wie in der Abb. 3 gezeigt auf dem Passagiersitz des Gyrocopters integriert. Die Spektralfilter sind auch nach dem Einbau noch austauschbar. Zusätzlich wird eine inertielle Messeinheit (inertial measurement unit, IMU) benutzt, um die Winkel der äußeren Orientierung zu erhalten. Diese IMU sitzt dabei direkt auf dem AMC-6.



Abb. 3: Links: Eingebautes Messsystem mit „AMC-6“, Messsensorik zur Positions- und Lagebestimmung, Bildschirm, Rechen- und Stromversorgungseinheit. Mitte: Blick durch die Bodenluke. Rechts: Multispektralkamera im Gyrocopter „D-MHSA“. Flugplatz Magdeburg (EDBM)

Damit das AMC-6 auch in gängigen Messflugzeugen eingesetzt werden kann, wurde es mit einer Adaptionfunktion entwickelt. Durch die veränderliche Position des Kamerakorpus lässt sich das AMC-6 z. B. auch in die stabilisierende Plattform GSM 4000 der Firma SOMAG AG einbauen. Der Kamerakorpus lässt sich in Flugrichtung mittig für stabilisierende Plattformen und versetzt nach hinten für die Bodenluke im Forschungsgyrocopter justieren. Durch die Adaptionmöglichkeit kann die AMC-6 auf allen gängigen Trägerplattformen von Flugzeugsystemen integriert werden. Die folgende Abb. 4 zeigt den Einbau in der Trägerplattform (Cessna T303 Crusader).



Abb. 4: Links: 3D-CAD-Zeichnungen. Mitte: AMC-6 System in GSM4000. Rechts: Blick durch die Bodenluke auf die austauschbare Filterplatte. Konzipierung des Einbaus und Sensortechnik in Trägerplattform Cessna T303 Crusader verbaut. Flugplatz Kamenz (EDCM).

4.2 Testbefliegung

Im Rahmen der Entwicklung der AMC-6 erfolgte die erste Testbefliegung bei Gommern nahe dem Flugplatz Magdeburg mit dem hochschuleigenen Forschungsgyrocopter „D-MHSA“. Der Testflug wurde in 600 m Höhe über Grund bei einer Bildüberlappung von 50 % quer und 60 % längs durchgeführt.

Für die Testbefliegung wurden die Spektralfilter mit zentralen Wellenlängen (CWL) von 450 nm (Kamera 1), 550 nm (Kamera 2), 675 nm (Kamera 3), 725 nm (Kamera 5) und 850 nm (Kamera 6) gewählt. Dieses genutzte Interferenzfilterset mit einer spektralen Bandbreite von jeweils 50 nm wurde spezifisch für die Betrachtung von Vegetationsanalyse einschließlich NDVI sowie SAVI als spektrale Indikatoren ausgewählt (SILVA et al. 2020; HEUTE 1988).

Missionsbegleitend erfolgte fortlaufend die Speicherung der Bildaufnahmen, Koordinaten jedes Auslösesignals sowie weiterer Informationen über die Orientierung des Fluggerätes im Raum (Gier-, Nick- und Roll-Winkel) durch das Trägheitsnavigationssystem (IMU) in einer separaten EXIF-Datei.

4.3 Auswerte-Workflow AMC-6

Eine weitere technisch orientierte Fragestellung im Zusammenhang mit der baulichen Systembereitstellung des AMC-6 und der Datenerfassung besteht in der geometrischen Koregistrierung der sechs zeitgleich generierten spektralen Aufnahmen. In Abb. 5 ist der Überlappungsbereich der Aufnahmen schematisch dargestellt.

Bedingt durch den räumlichen Versatz (siehe Abb. 4 und 5) der sechs Objektive (geometrische Anordnung), ist eine Qualitätsabschätzung für die Endprodukte erforderlich. Hierfür waren Labortests zum Anordnungskonzept und der Ermittlung der ausgleichenden Transformation der Aufnahmen notwendig. Dabei wurde die Aufnahmegeometrie simuliert, optimiert und ein Softwaretool programmiert, welches diese auf die Aufnahmen anwendet.

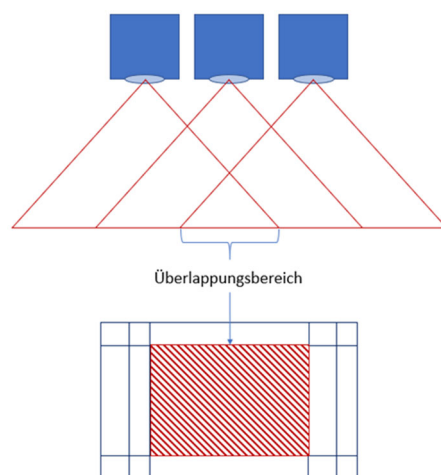


Abb. 5: Schematische Darstellung des Kameraversatzes

Um aus den Aufnahmen der Kameras sinnvolle photogrammetrische Produkte zu erhalten, müssen die Bilder zu einem Stapel zusammengefasst werden. Diese Stapelung wird mithilfe der Programmiersprache „Python“ und der „OSGeo“-Bibliothek realisiert. Das erzeugte Produkt ist dabei ein mehrkanaliges Multispektralbild im TIF-Format. Bei einer einfachen Stapelung der jeweiligen Bilder tritt ein geometrischer Versatz auf, welcher durch die Überlagerung der einzelnen Spektralkanäle deutlich erkennbar und auch quantifizierbar ist.

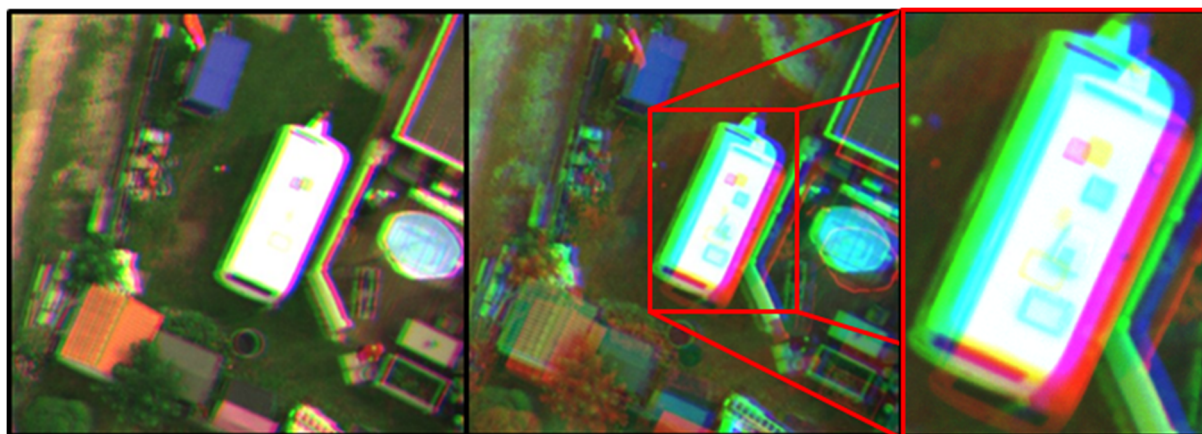


Abb. 6: Ausschnitt der Gommern-Daten und sichtbarer geometrischer Versatz durch Stapelung der Kanäle

Wie die Abb. 6 aufzeigt, wurden im linken Ausschnitt die Kanäle mit 450 nm (Kamera 1), 550 nm (Kamera 2) und 675 nm (Kamera 3) zu einem Stapel zusammengefügt, welcher als RGB-Bild interpretiert werden kann. Der mittlere sowie rechte Ausschnitt ist dabei jeweils ein Stapel aus den Kanälen mit den Wellenlängen von 450 nm (Kamera 1), 550 nm (Kamera 2) und 725 nm (Kamera 5). Der linke und mittlere Ausschnitt zeigt den gleichen Bereich, der rechte veranschaulicht die Problematik vergrößert. Bei der Kombination der Kanäle tritt ein Versatz auf, welcher zu einer Unschärfe führt. Dieser Versatz ist hardwareseitig durch die Anordnung der Kameras in einem Grid verursacht. Insbesondere bei näherer Betrachtung des Fahrzeugs ist die Struktur in jedem Kanal erkennbar, da der Versatz dazu führt, dass die Kanäle nicht übereinander liegen.

Der Versatz enthält Komponenten der Rotation, Translation, Scherung und Skalierung der Bilder zueinander. Demzufolge kann mit einer einfachen softwareseitigen Stapelung der einzelnen

TIFF-Bilder kein adäquates Multispektralbild generiert werden. Unter Zuhilfenahme einer OpenCV-Bibliothek wurde der Versatz programmtechnisch bestimmt. Dem Vorgehen liegt der Ansatz zugrunde, die TIFF-Bilder einer Szene auf ein Referenzbild der Szene zu transformieren. Die Verknüpfungspunkte werden durch einen Algorithmus automatisch im Zielbild erkannt, welche zu einem festgelegten Referenzbild gesucht werden. Um dies zu realisieren, wird der sogenannte „AKAZE“-Algorithmus (SHARMA & JAIN 2020) eingesetzt. Anschließend lässt sich über die ermittelten Verknüpfungspunkte die homographische Transformationsmatrix mithilfe von „RANSAC“ (RANDOM SAMPLE CONSENSUS) (DONG et al. 2022) ermittelt. Nachdem die Transformationsmatrix bestimmt wurde, folgt die Transformation der einzelnen TIFF-Bilder zu dem Referenzbild. Anschließend werden die TIFF-Bilder wie zuvor beschrieben zu einem Stapel zusammengefasst und gespeichert. Durch die Transformation liegen die Kanäle des erzeugten Multispektralbilds exakt übereinander. Das Ergebnis der Transformation ist in der folgenden Abb. 7 dargestellt.

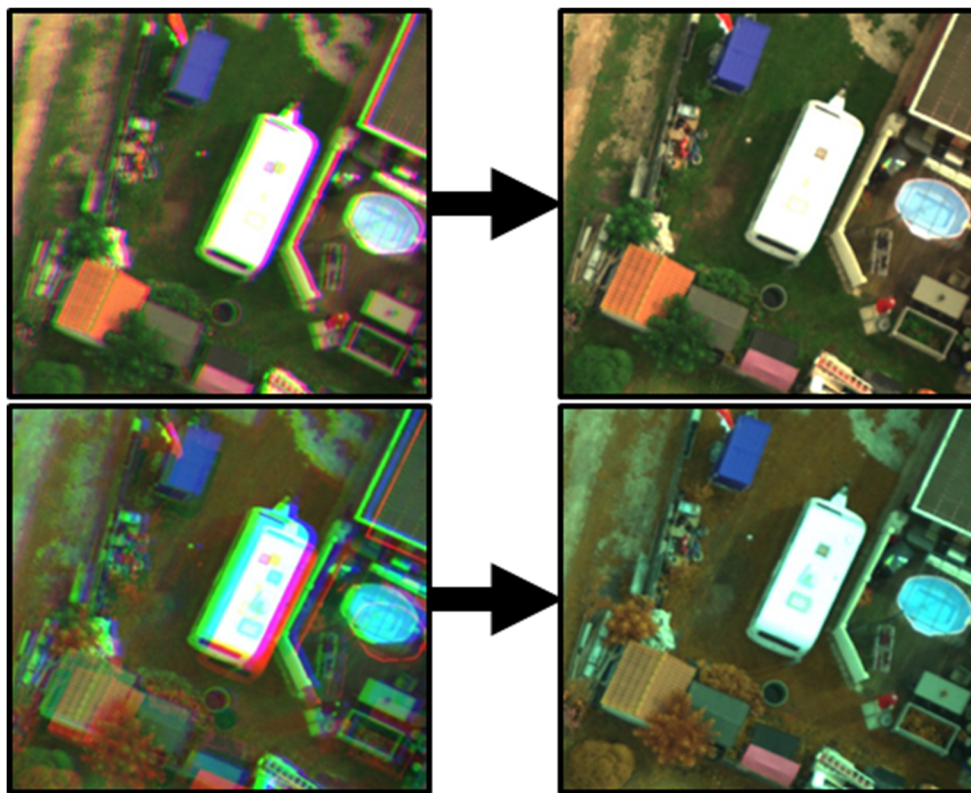


Abb. 7: Links: Ergebnis der Stapelung ohne Keypoints und Transformation. Rechts: Resultat der Stapelung nach der Transformation der Kanäle über Keypoints

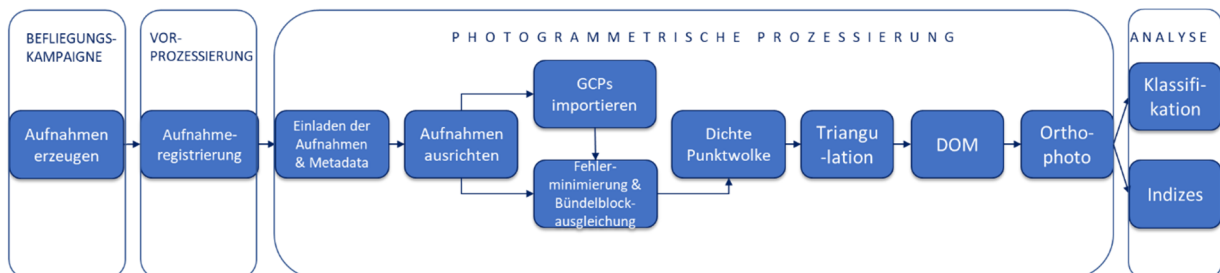


Abb. 8: Workflow der AMC-6, beginnend mit der Befliegungskampagne über die Aufnahmeregistrierung, die photogrammetrische Auswertung bis hin zur Analyse der generierten und prozessierten Multispektraldaten

Nach der Aufnahmeregistrierung der Testbefliegungen konnten die aus der Datenerhebung resultierenden Befliegungsaufnahmen für die Datenverarbeitung mit der Software Metashape der Firma Agisoft prozessiert werden.

In der folgenden Abb. 8 ist schematisch der Ablauf der AMC-6 Prozessierung dargestellt.

5 Ergebnisse der ersten Befliegungskampagne

Das erste Ergebnis der experimentellen Kampagne ist das generierte Orthophoto, lagegetreu für jede einzelne Kamera (siehe Ausschnitt in Abb. 9). Dieses veranschaulicht das Untersuchungsgebiet in einer orthogonalen Sicht.

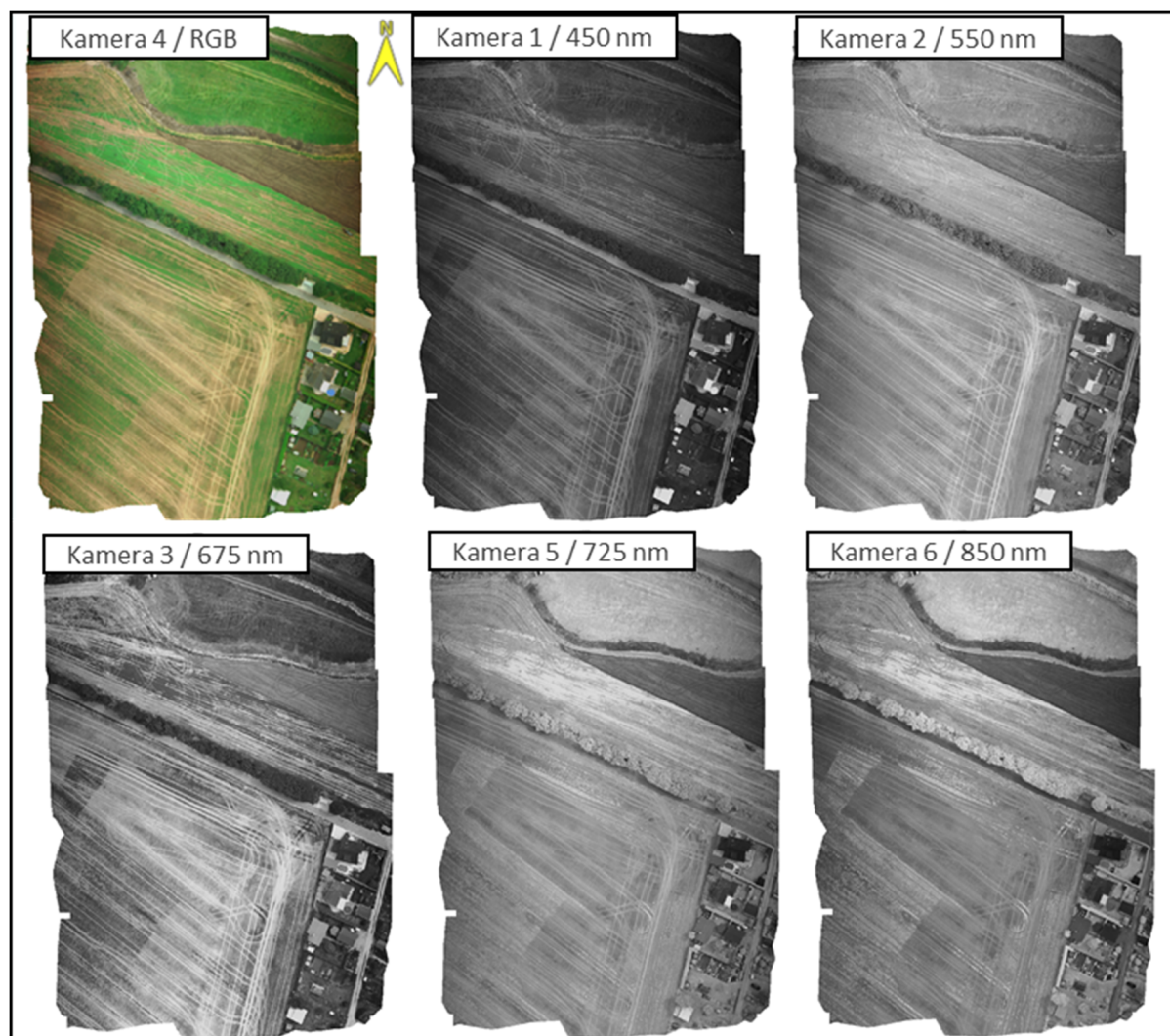


Abb. 9: Orthophotos AMC-6 / Ausschnitt im Untersuchungsgebiet Gommern / Kamera 4 RGB (Rot 625 nm / Grün 530 nm / Blau 460 nm), Kamera 1 mit Band 450 nm, Kamera 2 mit Band 550 nm, Kamera 3 mit Band 675 nm, Kamera 5 mit Band 725 nm und Kamera 6 mit Band 850 nm der Interferenzfilter (FWHM 50 nm) bestückt

Mithilfe spektraler Vegetationsindizes können versiegelte, unbewachsene Flächen oder abgestorbene Vegetation von Gebieten mit vitaler Vegetation unterschieden werden. Zudem lassen sich Aussagen über den Gesundheitszustand von Pflanzen und deren Wassergehalt treffen. Somit kann der Zustand von Vegetation quantifiziert und letztlich bewertet werden. Für diese

Untersuchung eignen sich vor allem Messwerte aus dem NIR und dem roten Wellenlängenbereich in Kombination mit dem blauen Spektralbereich. Dies lässt sich durch den starken Anstieg der Reflexionskurve von vitaler Vegetation zwischen dem roten Spektrum und dem NIR, dem sogenannten Red-Edge-Bereich, begründen (SUN et al. 2020)). Mit dem Unterschied der Reflektanz im sichtbaren roten Bereich und dem NIR kann die Vitalität von Vegetation bzw. der Chlorophyllgehalt von Pflanzen ermittelt werden. Der „Normalized Difference Vegetation Index“ (NDVI) nutzt diese Eigenschaft.

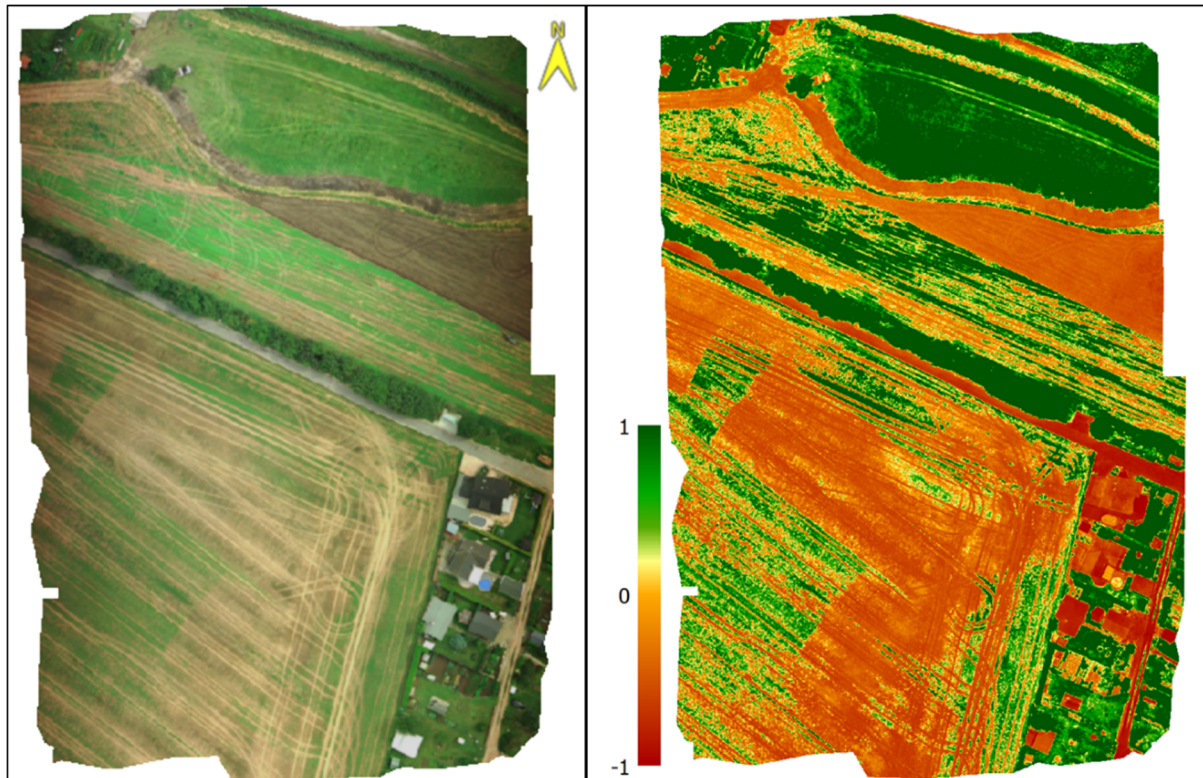


Abb. 10: RGB-Bild (links) und NDVI-Ergebnis (rechts) im Untersuchungsgebiet Gommern. Die Farbskala repräsentiert die NDVI-Werte von -1 für keine Vegetation/Boden etc. bis 1 für gesunde vitale Vegetation

Abb. 10 zeigt den NDVI von einem Geländeausschnitt im Untersuchungsgebiet Gommern. Aufgrund der hohen räumlichen Auflösung erscheinen die Fahrgassen deutlich sichtbar. Weiterhin sind Bereiche unterschiedlicher Vegetationsbedeckung deutlich im NDVI abgrenzbar. In der folgenden Abb. 11 werden als weitere exemplarische Betrachtungen der Soil- Adjusted Vegetation Index (SAVI) und das Color-Infrared (CIR) aufgezeigt. Der bodenangepasste Vegetationsindex SAVI ist ein Index, der nach HUETE (1988) die Einflüsse der Bodenelligkeit durch einen Korrekturfaktor minimiert. Er wird häufig in trockenen Regionen verwendet, in denen die Vegetationsbedeckung gering ist.

Das CIR ist nützlich für die Untersuchung der Vegetation, der Entwässerung, die Überwachung verschiedener Stadien des Pflanzenwachstums und der Bodenmuster. Im Allgemeinen weisen tiefe Rottöne auf eine breitblättrige und/oder gesündere Vegetation hin, während hellere Rottöne auf spärlich bewachsene Gebiete oder Grasland deuten. Dicht besiedelte urbane Gebiete sind hellblau hervorgehoben (KAMIŃSKA et al. 2018).

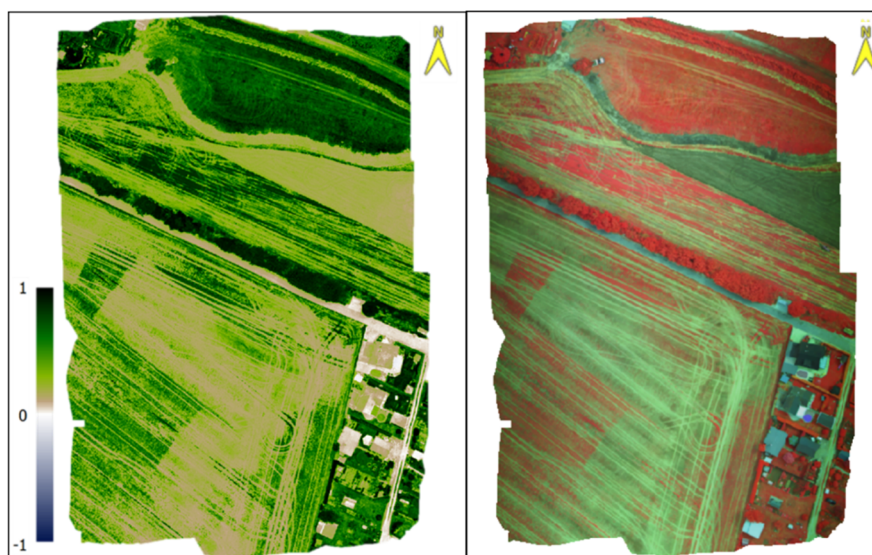


Abb. 11: SAVI (links) und CIR (rechts) im Untersuchungsgebiet Gommern.

6 Fazit und Ausblick

Die AMC-6 stellt ein neuartiges und einzigartiges Bindeglied zwischen Multispektralkameras an UAVs und satellitenbasierten Multispektralsystemen dar. Zudem ergänzt es die bisher genutzte flugzeuggestützte Sensorik. Durch die Modularität der Filter kann auf unterschiedliche Bedürfnisse bei der Datenakquise flexibel reagiert werden. Somit ist es möglich, in der gleichen Zeit größere Gebiete zu erfassen als mit UAVs und dies mit einer höheren räumlichen Auflösung als mit Hyperspektralscannern oder Satellitendaten.

Die Auswirkungen des Klimawandels und der damit verbundene Bedarf an innovativen Geo-Informationsprodukten i) zur Erfassung von Dürren, Überschwemmungen, Eutrophierung, ii) für das Monitoring lokaler und regionaler Auswirkungen sowie iii) die Entwicklung und Bereitstellung integrativer Planungsgrundlagen für die Klimaanpassung von Landschaften sind ein zentrales Handlungsfeld im Bereich Geoinformation und Fernerkundung. Mit der AMC-6 wurde ein effizientes System entwickelt, welches die multispektrale Datenerfassung, -Prozessierung und -Auswertung vereinfacht und damit den Zugang für ein breites Anwenderspektrum ermöglichen soll. Die AMC-6 leistet einen Beitrag, um zuverlässig Umweltdaten zu erfassen und das Angebot von Geoportalen weiterzuentwickeln.

Durch Tests und Implementierungen lässt sich die AMC-6 zukünftig weiter komplementieren. So wird mit der Software, welche die TIFF-Bilder registriert, eine Echtzeitberechnung von Indizes implementiert, um eine Echtzeit-Visualisierung während des Fluges auf die Produkte erhalten zu können. Ein weiteres Ziel ist die 3D-Visualisierung und Analyse von Indikatorkarten. Dadurch könnten zusätzlich zu den Vitalitätsanalysen i) Baumhöhen abgeleitet, ii) Volumen und Biomasse der Flächen durch das normalisierte Höhenmodell berechnet und iii) gezielte Baumarten- und Flächenklassifizierungen anhand ihrer spektralen Signaturen durchgeführt werden.

7 Dank

Die Förderung des Projektes (Förderkennzeichen: KK 5252501 ER0) erfolgte im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) durch die AIF Projekt GmbH.

8 Literaturverzeichnis

- CANDIAGO, S., REMONDINO, F., DE GIGLIO, M., DUBBINI, M. & GATTELLI, M., 2015: Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. *Remote Sensing*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/rs70404026>.
- COLOMINA, I. & MOLINA, P., 2014: Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>.
- DONG, Y., LIANG, C. & ZHAO, C., 2022: A Novel Remote Sensing Image Registration Algorithm Based on Feature Using ProbNet-RANSAC. *Sensors*, 22(13). <https://doi.org/10.3390/s22134791>.
- HUETE, A. R., 1988: A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X).
- KAMIŃSKA, A., LISIEWICZ, M., STEREŃCZAK, K., KRASZEWSKI, B. & SADKOWSKI, R., 2018: Species-related single dead tree detection using multi-temporal ALS data and CIR imagery. *Remote Sensing of Environment*, 219. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.005>.
- LU, B., HE, Y. & DAO P. D., 2019: Comparing the Performance of Multispectral and Hyperspectral Images for Estimating Vegetation Properties. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(6), <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2019.2910558>.
- PAUSE, M., SCHWEITZER, C., ROSENTHAL, M., KEUCK, V., BUMBERGER, J., DIETRICH, P., HEURICH, M., JUNG, A. & LAUSCH, A., 2016: In Situ/Remote Sensing Integration to Assess Forest Health - A Review. *Remote Sens.* 2016, 8(6), 471. <https://doi.org/10.3390/rs8060471>.
- PHIRI, D., SIMWANDA, M., SALEKIN, S., NYIRENDA, V. R., MURAYAMA, Y. & RANAGALAGE, M., 2020: Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review. *Remote Sensing*, 12(14), <https://doi.org/10.3390/rs12142291>.
- SHARMA, S. K., & JAIN, K., 2020: Image Stitching using AKAZE Features. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(10), <https://doi.org/10.1007/s12524-020-01163-y>.
- SILVA, V., SALAMI, G., SILVA, M- I. O., SILVA, E. A., JUNIOR, J. J. M. & ALBA, E. 2020: Methodological evaluation of vegetation indexes in land use and land cover (LULC) classification. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 4(2), 159-169. <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1608409>.
- SUN, Y., QIN, Q., REN, H., ZHANG, T., & CHEN, S., 2020: Red-Edge Band Vegetation Indices for Leaf Area Index Estimation from Sentinel-2/MSI Imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58(2), <https://doi.org/10.1109/TGRS.2019.2940826>.
- WULDER, M. A., ROY, D. P., RADELOFF, V. C., LOVELAND, T. R., ANDERSON, M. C., JOHNSON, D. M., HEALEY, S., ZHU, Z., SCAMBOS, T. A., PAHLEVAN, N., HANSEN, M., GORELICK, N., CRAWFORD, C. J., MASEK, J. G., HERMOSILLA, T., WHITE, J. C., BELWARD, A. S., SCHAAF, C., WOODCOCK, C. E., HUNTINGTON, J. L., LYMBURNER, L., HOSTERT, P., GAO, F., LYAPUSTIN, A., PEKEL, J., STROBL, P. & COOK, B. D., 2022: Fifty years of Landsat science and impacts. *Remote Sensing of Environment*, 280, 113195, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113195>.