

Ein adaptives und kompaktes Fernerkundungssystem für UL-Fluggeräte – Konzept und Anwendungen

CASPAR KNEER¹, ALEXANDER JENAL¹, IMMANUEL WEBER¹ & JENS BONGARTZ¹

Zusammenfassung: Systeme für die luftgestützte Fernerkundung werden häufig durch aufwendige Um- und Einbauten in bemannte Fluggeräte integriert und binden dieses damit an einen speziellen Anwendungszweck. Das hier vorgestellte modulare Fernerkundungssystem wurde speziell für die temporäre Verwendung in Ultraleichtflugzeugen (UL) entwickelt. In einem ersten Entwicklungsschritt (FlugKit) wurde ein Aufbau für das weit verbreitete Tragschraubermodell AutoGyro MTOsport entworfen. Alle Komponenten finden dabei in einem robusten und kompakten Aufbau Platz. Dieser besteht aus einem Trägersystem, einer Sensoraußenlast und Anzeigeinstrumenten für den Piloten. Durch eine reversible Haltevorrichtung kann das System binnen kürzester Zeit ein- und ausgebaut werden. Dabei sind keine dauerhaften Veränderungen am Fluggerät notwendig. Durch Miniaturisierung und Integration aller Systemkomponenten in einen Messgerätekooffer (FlugCase) konnten weitere neue Möglichkeiten bezüglich Transportfähigkeit und Verwendung in anderen UL Modellen eröffnet werden.

1 Einleitung und Motivation

In früheren Arbeiten (JENAL et al. 2015; WEBER et al. 2015) zeigten die Autoren bereits die vorteilhaften Eigenschaften von Ultraleichtfluggeräten (UL) für die luftgestützte Fernerkundung am Beispiel von Tragschraubern. Dazu zählen im Vergleich zu größeren Flugzeugen und Hubschraubern die niedrigen Unterhalts- und Betriebskosten sowie die einfachere Abnahme von Einbauten und Modifikationen. Typspezifisch bieten Tragschrauber gute Langsamflugeigenschaften sowie hohe Wendigkeit und Stabilität. Im Vergleich zu UAVs verfügen ULs über deutlich größere Traglasten und Flugzeiten und dürfen sich als reguläre Teilnehmer frei im Luftraum bewegen.

Diese Aspekte aufgreifend, stellen die Autoren in dieser Arbeit den nächsten Schritt in der Entwicklung von Fernerkundungssystemen für UL-Flugzeuge vor. Dieser basiert auf zwei zusammenhängenden Erkenntnissen. Zum ersten ist das Verlegen eines Flugzeugs für eine Messkampagne mit einem erheblichen logistischen Aufwand verbunden. Zum anderen bindet die Modifikation und Ausrüstung eines einzelnen Flugzeugs, sowohl das Flugzeug an diesen Bestimmungszweck als auch den Betreiber an das jeweilige Flugzeug. Die Autoren adressieren den zweiten Punkt durch die Entwicklung eines Fernerkundungssystems, das ohne Modifikationen am Fluggerät in kurzer Zeit ein- und ausgebaut werden kann. Auf diese Weise bleibt das Fluggerät weiterhin flexibel einsetzbar. Damit bindet es den Betreiber nicht mehr an ein einzelnes Fluggerät, wodurch auch der erste Punkt in Angriff genommen werden kann: Durch die Wahl eines weit verbreiteten Fluggeräte-Modells als Basis für das modulare Fernerkundungssystem erübrigt sich in den meisten Fällen ein aufwändiges Verlegen des Flugzeugs. Das Fluggerät kann meistens in

¹ Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR, Anwendungszentrum für multimodale und luftgestützte Sensorik AMLS, Joseph-Rovan-Allee 2, D-53424 Remagen
E-Mail: [caspar.kneer, alexander.jenal, immanuel.weber, jens.bongartz]@fhr.fraunhofer.de

der Nähe des Befliegungsareals gechartert werden und die Ausrüstung wird beispielsweise per PKW zu einem Flugplatz in der Nähe transportiert. Der Ein- und Ausbau erfolgt vor Ort und die Befliegung wird durch einen ortsansässigen, erfahrenen Piloten durchgeführt.

Im Folgenden wird das Konzept und Design der Fernerkundungsausrüstung vorgestellt und abschließend anhand von zwei Beispielkampagnen die neuen Möglichkeiten des Systems erläutert.

2 Konzept und Design

Im folgenden Kapitel wird der prinzipielle Aufbau des Systems und die beiden Varianten - FlugKit und FlugCase - für die Verwendung in zwei unterschiedlichen UL-Fluggeräten (Abb. 2) beschrieben.

2.1 Bestandteile des Gesamtsystems

Das Grundelement der beiden Varianten ist ein mechanischer Träger, der für die Dauer der Befliegung mit dem Fluggerät verbunden wird. Dieser ist für das jeweilige Fluggeräte-Modell ausgelegt und die beiden bisher entwickelten Varianten werden in den folgenden Abschnitten näher vorgestellt. Hervorzuheben ist, dass für die Montage keine Änderungen am Fluggerät erforderlich sind. Der Träger nimmt sämtliche Komponenten auf und sorgt für die notwendige Stabilität des Systems. Ein Grundelement ist die integrierte, unabhängige Stromversorgung, die eine Einsatzdauer des Systems von ca. acht Stunden gewährleistet und einen Betrieb am Boden ohne laufenden Motor ermöglicht. Im Inneren des Fluggerätes befinden sich im Träger neben der Stromversorgung der Datenverarbeitungsrechner, der die Sensoren ansteuert, die anfallenden Daten verarbeitet und speichert, sowie weitere Steuersysteme kontrolliert. Die Sensoren werden als Außenlast montiert und in einem aktiven, elektromechanischen Gimbal betrieben, das auch bei unruhigerer Wetterlage und den damit verbundenen Kurskorrekturen des Piloten eine Nadir-Orientierung der Sensoren gewährleistet. Einen schematischen Überblick der Systemkomponenten zeigt Abb. 1. Das Gimbal ist mittels Schwingungsdämpfer mit dem Träger verbunden und wird dadurch von den Vibrationen des Motors und des Rotors entkoppelt. Ein Windabweiser vor dem Außenlast-Gimbal reduziert die Windlast auf dessen Motoren und schützt die Sensoren vor Verschmutzung und Beschädigung (siehe auch Abb. 3).

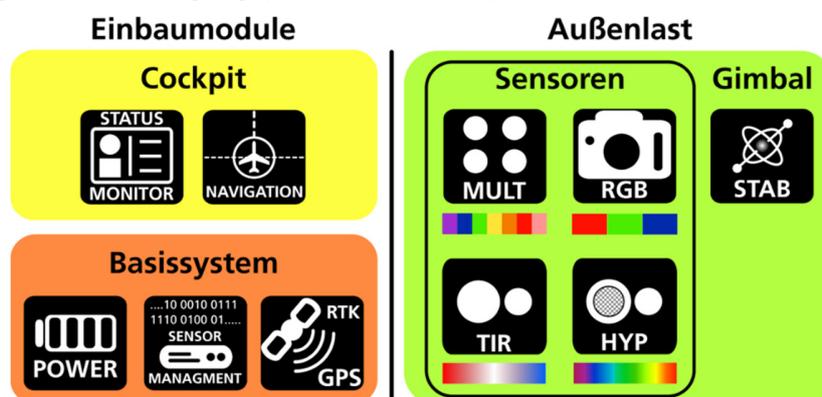


Abb. 1: Schema der Systemkomponenten: Im Cockpit befinden sich das Navigations- und Statusdisplay für den Piloten. Das Basissystem ist im Trägersystem integriert, an dem die Außenlast mit den Sensoren montiert ist.



Abb. 2: *Links:* Tragschrauber AutoGyro MTOsport mit integriertem FlugKit. *Rechts:* Trike P&M Aviation QuikR mit integriertem FlugCase

Neben dem Träger und seinen Komponenten werden im Cockpit ein Navigations- sowie ein Statusdisplay montiert. Letzteres informiert den Piloten über den Zustand des Systems. Das Navigationsdisplay, welches die grafischen Informationen des Navigationssystems darstellt, führt den Piloten intuitiv zum Befliegungsareal und dort zu den ortsgebundenen Mess- bzw. Aufnahmepunkten. Diese Punkte werden vorab per Software geplant und vor Abflug in das Navigationssystem eingespielt. Es sind sowohl Pfadbefliegungen als auch Flächenbefliegungen möglich.

Das gesamte System ist so ausgelegt, dass der Pilot sich auf den Luftraum und den Flug konzentrieren kann und bis auf die Navigation keine Berührungspunkte mit dem System hat. Vor dem Flug wird das System durch einen Operator gestartet, konfiguriert und die Sensoren werden kalibriert. Während des Fluges werden die Sensoren beim Erreichen der Aufnahmepunkte automatisch ausgelöst. Die anfallenden Messdaten der Kameras und der Umweltsensoren, dazu zählen u.a. Luftdruck, Lufttemperatur, Luftfeuchte und das Spektrum des einfallenden Sonnenlichtes, werden zusammengeführt und in Kombination mit Zeit- und Positionsdaten des GNS-Systems gespeichert.

2.2 FlugKit

Das Fernerkundungssystem FlugKit wurde speziell für Tragschrauber des Typs AutoGyro MTOsport entwickelt. Mit über 1500 weltweit zugelassenen Modellen handelt es sich hierbei um eines der meist verwendeten Ultraleichtfluggeräte. Das FlugKit wird über eine Haltevorrichtung reversibel mit dem Hauptrahmen des Tragschraubers verbunden. Dabei nimmt das System den Fußraum des Rücksitzes ein, sodass die Mitnahme einer zweiten Person nicht mehr möglich ist. Dies wiederum ermöglicht eine maximale Nutzlast von bis zu 100 kg. Das in Abb. 3 dargestellte System mit einseitiger Außenlast wiegt zurzeit 32 kg, was eine Flugzeit von bis zu fünf Stunden ermöglicht.



Abb. 3: FlugKit für AutoGyro MTOsport. Zu sehen ist auf dem linken Bild das eingebaute Trägersystem mit seinen zwei Containern für die Energieversorgung (links) und die Computersteuerung sowie GPS (rechts). Das rechte Bild zeigt eine Detailaufnahme der Außenlasthalterung für die Sensoren mit elektromechanischer Lageregelung.

Je nach Kamerasystem, Flughöhe und erforderlicher Bodenauflösung kann das System eine Fläche von bis zu 40 km² pro Stunde erfassen. Auf Grund der modularen Bauform kann das System innerhalb von einer halben Stunde eingebaut und in Betrieb genommen werden.

2.3 FlugCase

Die zweite Ausbaustufe des Systems, die sich im Wesentlichen durch die Integration der zuvor beschriebenen Komponenten in einen Messgerätekofter auszeichnet, wurde speziell für eine Messkampagne in Kambodscha entwickelt. Der in Abb. 4 dargestellte Koffer beinhaltet alle Basiskomponenten des Systems (Energieversorgung, Computer und GPS) und kann direkt auf dem Sitz eines Fluggerätes befestigt werden. Im konkreten Beispiel ist dies der Rücksitz eines Trikes des Typs QuikR von P&M Aviation.

Hinzu kommt ein kompakter, demontierbarer Aluminiumträger, der mit dem Rahmen der Sitzschalen-Aufnahme des Trikes verbunden ist. An diesem wird die Sensorik inklusive Gimbal befestigt. Das komplette für die Durchführung der Messkampagne benötigte Equipment, inklusive Werkzeug, konnte auf drei Koffer verteilt im Handgepäck zu einer Messkampagne nach Kambodscha transportiert werden (siehe Abs. 3.2).



Abb. 4: *Links:* Ein Trike des Modells QuikR von P&M Aviation mit eingebautem FlugCase und Halterahmen für das Kamerasystem. Im Cockpit befindet sich das Navigationsdisplay. *Rechts:* Das FlugCase ist ein umgebauter robuster Kunststoff-Koffer. Seitlich sind die verschiedenen Systemanschlüsse zu erkennen.

3 Anwendungen

Im Folgenden werden zwei Messkampagnen vorgestellt, die mit den zwei erwähnten Fluggerätetypen durchgeführt wurden.

3.1 Thermale Befliegung der Hahnhöfer Nebelnelbe

Zusammen mit der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) wurde im Sommer 2015 eine zweitägige Messkampagne zur flächigen Bestimmung der Oberflächentemperatur der Hahnhöfer Nebelnelbe und des Mühlenberger Lochs bei Hamburg, einer 24 km² großen Watt- und Uferfläche, durchgeführt. Zum Einsatz kam hierbei ein AutoGyro MTOsport, der mit einem FlugKit Trägersystem ausgestattet war. Zur Validierung vorhandener Temperatur-Modelle sollte das Untersuchungsgebiet an zwei aufeinanderfolgenden Tagen mehrfach mit einer Thermalkamera befliegen werden. Dies hatte den Zweck, die Temperaturentwicklung während eines Tidezyklus zu verschiedenen Zeitpunkten aufzuzeichnen. Für die Kampagne kam erschwerend hinzu, dass sich das Areal in unmittelbarer Nähe zum Airbus-Werksflughafen in Finkenwerder und in der Einfugschneise des Verkehrsflughafens Fuhlsbüttel befindet. Der Tragschrauber musste deswegen mit eingeschaltetem Transponder fliegen und der Pilot stand in permanenten Funkkontakt mit den Fluglotsen der Deutschen Flugsicherung. Die Flughöhe wurde mit 1400 m über Grund so gewählt, dass der Tragschrauber sich oberhalb der Einfugschneise befand. Die Kampagne konnte erfolgreich durchgeführt werden und an zwei Tagen wurden jeweils vier bzw. drei Flüge durchgeführt. Die Daten wurden zu Gesamtkarten prozessiert und befinden sich zurzeit in der themenspezifischen Auswertung durch die BfG (BONGARTZ et al. 2016).

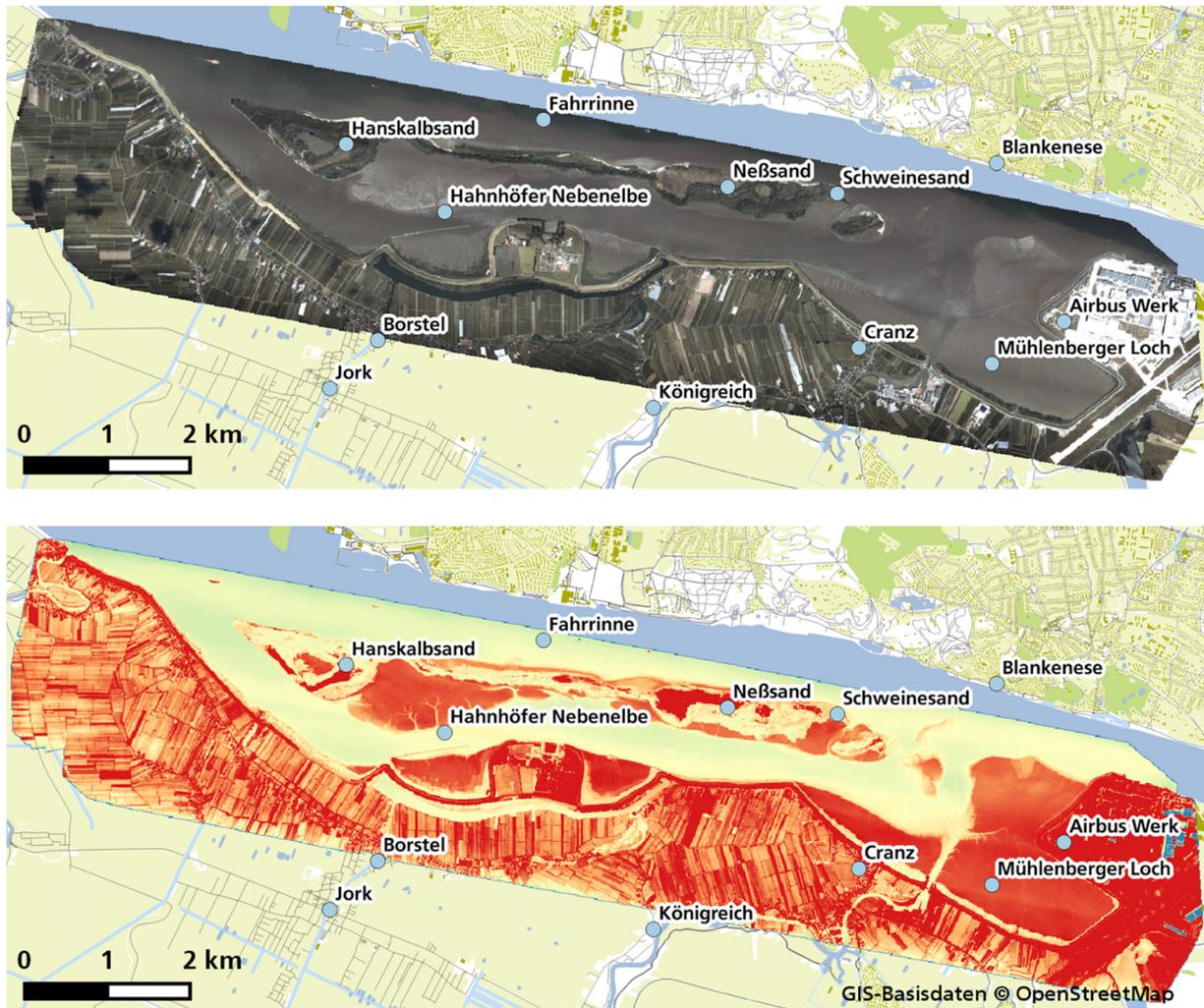


Abb. 5: Bei der Befliegung der Hahnöfer-Nebelbe erstellte Karten. Die obere zeigt ein Farbbild des Befliegungsgebietes und die untere die entsprechende Temperaturkarte. Die Daten stammen vom ersten Flug des Tages bei Niedrigwasser. Das Befliegungsgebiet umfasst eine Fläche von ca. 24 km².

3.2 Evaluierung von Möglichkeiten zur Landminendetektion aus der Luft

In Kambodscha ist die Minenproblematik noch allgegenwärtig. Bedingt durch den starken Vegetationsbewuchs vieler Flächen sowie die Regenzeit ist und bleibt die händische Minensuche und Entschärfung das Mittel der Wahl. Dies bedeutet jedoch auch, dass die Räumung von Flächen nur sehr langsam vorangeht. Da Minen zu einem überwiegenden Anteil wahllos und ohne System von der Landbevölkerung verlegt wurden, gibt es keinerlei belastbare Aufzeichnungen über verminten Flächen. Daher handelt es sich bei den meisten Flächen lediglich um Verdachtsgebiete. Das Projekt ist Teil einer ersten Konzeptstudie, die zeigen soll, ob es mit bildgebender multi- und hyperspektraler Sensorik möglich ist, verminten Flächen anhand von Pflanzensignaturen von minenfreien zu unterscheiden (NAUMANN et al. 2009; ZINNERT 2012). Dadurch soll eine Räumungspriorisierung von belasteten Flächen ermöglicht werden.

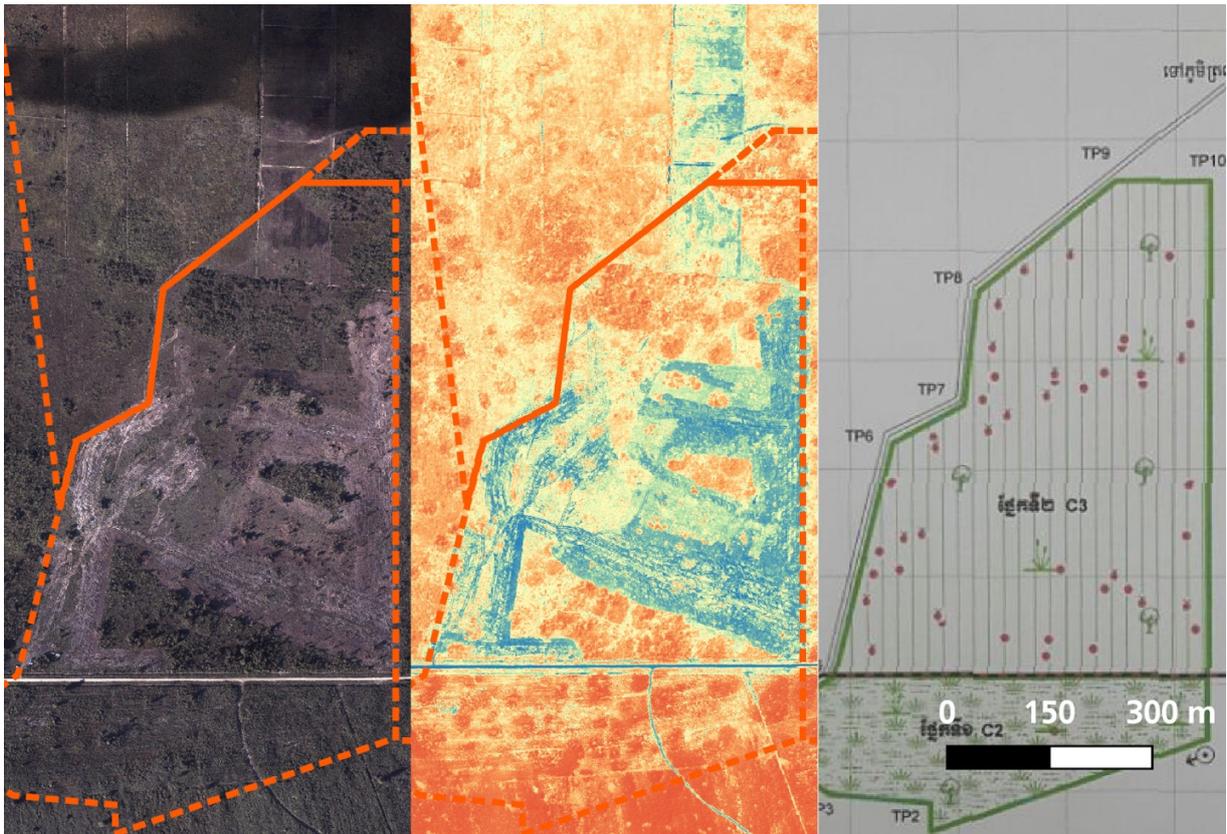


Abb. 6: *Links*: Luftbild einer Minenräumfläche *Mitte*: NDVI dieser Räumfläche *Rechts*: Karte der Minenfundorte

Durchgeführt wurde die Befliegungskampagne im November 2015 im Rahmen eines Fraunhofer-Förderprogramms. Die erfassten Luftbildkarten werden nachträglich mit den tatsächlich gefundenen Minenfundorten verglichen, um Merkmale in der hyperspektralen Signatur zu identifizieren. Neben den anspruchsvollen klimatischen und infrastrukturellen Bedingungen des Landes, stellte die Verfügbarkeit eines geeigneten Flugzeugs eine weitere Hürde dar. Nach intensiven Recherchen konnte ein UL-Trike der Firma P&M Aviation (QuikR) ausfindig gemacht werden. Da der für den MTOsport entwickelte Systemträger nicht mit diesem UL-Fluggerät kompatibel ist, musste das System angepasst werden. Hierbei wurde der in Absatz 2.3 erwähnte Messgerätekoffer (FlugCase) entwickelt. Dieser kann im Gegensatz zum FlugKit aufgrund seiner Abmaße universeller eingesetzt werden und ist nicht nur auf ein Flugzeugmodell beschränkt. Zusätzlich wurde ein Halterahmen für das UL-Trike konstruiert, der die einzelnen Sensorsysteme aufnehmen kann. Das optimierte System konnte per Linienflugzeug in das Zielland gebracht werden. Der Einbau vor Ort erfolgte problemlos, sodass nach einem Flugtag mit ausgiebigen Tests an den beiden darauffolgenden Tagen jeweils zwei Flüge über den ca. 50 km entfernten Minenfeldern durchgeführt werden konnten.

4 Fazit und Ausblick

Die von den Autoren entwickelte Fernerkundungsausrüstung in Form des FlugKits für den Tragschrauber AutoGyro MTOsport und des FlugCase für das Trike P&M Aviation QuikR ermöglicht es, mit niedrigem logistischen, zeitlichen und personellen Aufwand Fernerkundungskampagnen in vielen Teilen der Welt durchführen zu können. Ziel ist es, ein passendes Fluggerät in der Nähe des Zielgebietes zu chartern und für den Einsatzzweck umzurüsten. Die kompakte und leichte Bauform des Equipments ermöglicht z. B. den Transport mit einem PKW. In der Variante für das Trike sogar im Handgepäck während einer Flugreise. Die Entscheidung Ultraleichtflugzeuge zu verwenden, vereinfacht die regulatorischen Bedingungen erheblich und reduziert den finanziellen Aufwand einer Befliegung deutlich.

Die Autoren arbeiten zurzeit an einer zweiten Außenlastaufnahme des Systems für den gleichzeitigen Betrieb von zwei Sensorsystemen. Die Integration von Sensoren wie Laserscanner (LIDAR) oder synthetisches Apertur Radar (SAR) sind mittelfristig geplant. Weitere Trägerplattformen sollen durch eine Optimierung des Systems, hinsichtlich Gewicht und Größe, erschlossen werden. Auch der wachsende UAV-Markt liegt im Fokus dieser Arbeiten.

5 Literaturverzeichnis

- BONGARTZ, J., JENAL, A., KNEER, C., WEBER, I., BASCHEK, B., FRICKE, K., SCHÖL, A. & WYRWA, J., 2016: Ortsaufgelöste Messung der Wasseroberflächentemperatur an der Hahnöfer Nebelbe mit einem Tragschrauber. Tag der Hydrologie 2016, Koblenz, Volume: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 37, 16.
- JENAL, A., WEBER, I., KNEER, C. & BONGARTZ, J., 2015: Der Tragschrauber als Sensorplattform für die Fernerkundung. Publikationen der Deut. Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung u. Geoinformation e.V., Band 24, Kersten, T. (Hrsg.), 35. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, 16.-18. März 2015 in Köln, Tagungsband auf CD-ROM, 226-231.
- WEBER, I., JENAL, A., KNEER, C. & BONGARTZ, J., 2015: Gyrocopter-based Remote Sensing Platform. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* **40** (7/W3), 1333-1337.
- NAUMANN, J.C., ANDERSON, J. E. & YOUNG, D.R., 2009: Remote detection of plant physiological responses to TNT soil contamination. *Plant and Soil* **329** (1-2), 239-248.
- ZINNERT, J.C., 2012: Plants as Phytosensors: Physiological Responses of a Woody Plant in Response to RDX Exposure and Potential for Remote Detection. *International Journal of Plant Sciences* **173** (9), 1005-1014.