

Die Erdoberfläche in Pixeln - Potentiale kostengünstiger Fernerkundungsdrohnen in den Umweltwissenschaften

La Terre en pixels - Potentiel des drones de télédétection d'entrée de gamme pour l'étude de l'environnement

MARTIN GEILHAUSEN, PASCAL OCHSNER & RETO RUPF

Im Sommer 2013 begannen die Forschungsgruppen Geoinformatik und Umweltplanung der ZHAW mit dem Aufbau eines Schwerpunktes zur Fernerkundung mit Drohnen. In einem ersten Schritt werden die Potentiale und Grenzen kostengünstiger Fernerkundungsdrohnen anhand ausgewählter Einsatzbereiche im Umweltbereich diskutiert und im Hinblick auf Umsetzung, Machbarkeit, Qualitätsanforderungen und Kosten eingeordnet.

Kontext

Im Kontext des globalen Klima- und Umweltwandels sowie den zunehmenden Raum- und Nutzungsansprüchen des Menschen kommt der Erfassung sich verändernder Umweltbedingungen auf sämtlichen Raum- und Zeitskalen eine grosse Bedeutung zu. Die Dringlichkeit und der Handlungsbedarf zum Schutz der Ökosysteme und der nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen zeigen sich in der Vielzahl globaler sowie nationaler Schwerpunktprogramme, z.B. Global Terrestrial Observing System (GTOS), Wirkungskontrolle Biotopschutz Schweiz (Bergamini & Holderegger 2012). Die Identifikation relevanter Prozesse, das Verständnis systemarer Zusammenhänge und komplexer Interaktionen sowie die frühzeitige Erkennung von Trends bilden die Grundlagen von Regulationsmöglichkeiten, Handlungsspielräumen sowie Anpassungsmassnahmen als Voraussetzung für eine nachhaltige Ressourcennutzung. Neben direkten Messungen relevanter Umwelteigenschaften hat sich die Fernerkundung seit etwa der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts etabliert.

Ziele

Im Rahmen eines neuen Forschungsprojektes bauen die Forschungsgruppen Geoinformatik und Umweltplanung der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften einen Schwerpunkt zur Fernerkundung mit Drohnen auf. In ausgewählten und praxisrelevanten Pilotstudien, z.B. zur Beurteilung der Pflegedringlichkeit alpiner Schutzwälder, werden die Potentiale und Grenzen kostengünstiger Drohnen systematisch untersucht und evaluiert. Im Kontext der forschungsgeleiteten Lehre wird der skizzierte Schwerpunkt auch in das Aus- und Weiterbildungsangebot des Instituts integriert.

Pendant l'été 2013, les groupes de recherche Géoinformatique et Planification environnementale de la ZHAW ont débuté leurs travaux sur la télédétection avec les drones. Dans un premier temps, ils ont abordé le potentiel et les limites des drones de télédétection d'entrée de gamme, sur la base de domaines d'application en rapport avec l'environnement, avant d'établir une classification pour la mise en œuvre, la faisabilité, les exigences de qualité et les coûts.

Contexte

Compte tenu du changement climatique et environnemental mondial et des exigences croissantes de l'homme en termes d'espace et d'utilisation de l'environnement, la compilation d'informations sur l'évolution temporelle et spatiale des données environnementales est cruciale. L'urgence et la nécessité d'agir pour la protection des écosystèmes et l'utilisation durable des ressources naturelles se manifestent au travers de programmes nationaux et internationaux, tels que le Système global d'observation terrestre (GTOS) et le Suivi des effets de la protection des biotopes en Suisse (Bergamini et Holderegger 2012). L'identification des processus majeurs, la compréhension des relations systémiques et des interactions complexes, et l'identification précoce des tendances forment le socle des possibilités de régulation, des marges de manœuvre et des mesures d'ajustement qui sont autant de conditions nécessaires à l'utilisation durable des ressources. Outre la mesure directe des caractéristiques environnementales essentielles, la télédétection s'est ainsi imposée depuis la seconde moitié du XX^e siècle environ.

Objectifs

Dans le cadre d'un nouveau projet de recherche, les groupes Géoinformatique et Planification environnementale de la ZHAW étudient la télédétection avec les drones. Certaines études pilotes pertinentes (par ex. sur l'évaluation de l'urgence des soins requis par les forêts protectrices) ont permis d'étudier et d'évaluer systématiquement le potentiel et les limites des drones d'entrée de gamme. Dans le cadre de l'enseignement fondé sur la recherche, la thématique esquissée est intégrée dans la formation/formation continue de l'institut.

Fernerkundung und Drohnen

Die Fernerkundung (Remote Sensing) umfasst die indirekte, berührungsfreie Beobachtung der Erdoberfläche durch Messung elektromagnetischer Wellen mit satelliten- oder flugzeuggetragenen Sensoren (Campbell & Wynne 2011). Die Stärken der konventionellen Fernerkundungssysteme liegen primär in der Erfassung grosser Raumeinheiten und Wellenlängenbereichen. Im letzten Jahrzehnt haben sich Drohnen verschiedener Bauart als kostengünstige Alternative etabliert (Abb. 1, Carrivick et al. 2013). Für eine ausführliche Zusammenstellung und Klassifizierung der unterschiedlichen Systeme sei hier auf Van Blyenburg (1999) oder Watts et al. (2012) verwiesen. Heute sind Drohnen mit GPS und Navigationssystem ausgerüstet und werden manuell oder im autonomen Flugmodus mit Autopiloten gesteuert. Autopiloten ermöglichen interaktive Flugplanungen und gewährleisten stabile Flugbedingungen und Sicherheitsroutinen („fail-safe“), die zum Beispiel bei starken Winden eine kontrollierte Landung einleiten. Aufgrund der oftmals geringen Nutzlast sind Drohnen in der Regel mit einer Digitalkamera im sichtbaren oder nahen Infrarotbereich (NIR) ausgerüstet und können bei durchschnittlich 30 – 45 Minuten Flugzeit Gebiete bis zu 10 km² erfassen (Carrivick et al. 2013). Neuere Forschungsarbeiten widmen sich bereits der Nutzlasterhöhung, um Multispektralkameras oder Laserscanner zu nutzen (Wallace et al. 2012, Berni et al. 2009). Analog zu den Aufnahmen herkömmlicher Luftbildbefliegungen sind auch die mit Drohnen erfassten Luftbilder geometrisch verzerrt. Mit Methoden der Photogrammetrie und Bilderkennung und differentiell eingemessenen Passpunkten können entzerrte, hochaufgelöste Orthophotos und Oberflächenmodelle im Subdezimeterbereich mit Lagegenauigkeiten weniger Zentimeter berechnet werden (Abb. 2).

Drohnen besitzen also ein erhebliches Potenzial, räumlich und zeitlich hochaufgelöste Daten auf kleinerer Raumskala und in schwer zugänglichen Regionen kostengünstig und anwendungsbezogen zu erheben. Die Erfassung von Oberflächen- und Vegetationseigenschaften (Berni et al. 2009, Rango et al. 2009), die Erstellung und Fortführung von Inventaren, die Dokumentation



Abb. 1: Die Gruppe der unbemannten Luftfahrzeuge (unmanned aerial vehicle - UAV): Starrflügler (a) sind besonders für längere Flugzeiten und zur Erfassung grösserer Flächen geeignet. Im Gegensatz dazu erlauben Rotorflügler flexible Flugmanöver auch im Nahbereich zu erfassender Objekte und werden in Ein- (c), Doppel-, Vier- (b), Acht- oder Multirotor-systeme untergliedert (Van Blyenburg 1999, Photo credits: a) www.sensefly.com, b) www.microdrones.com, c) rmax.yamaha-motor.com.au).

Fig. 1: Catégories de drones (unmanned aerial vehicle - UAV): Les drones à voilure fixe (a) se prêtent aux vols plus longs et couvrent des surfaces plus étendues. Les modèles à rotors permettent des manœuvres plus précises, même à proximité des objets à observer. Il existe des drones à un (c), deux, quatre (b), huit rotors ou multirotors (Van Blyenburg 1999, Photo credits: a) www.sensefly.com, b) www.microdrones.com, c) rmax.yamaha-motor.com.au).

Téledétection et drones

La télédétection englobe l'observation indirecte et sans contact de la surface terrestre par la mesure des ondes électromagnétiques, avec des capteurs placés sur des satellites ou des avions (Campbell & Wynne 2011). Les principaux atouts des systèmes de télédétection classiques résident dans la prise en compte de grandes unités spatiales et gammes de longueurs d'ondes. Depuis ces dix dernières années, les drones sont devenus une solution rentable (fig. 1, Carrivick et al. 2013). Il convient ici de se référer aux travaux de Van Blyenburg (1999) ou Watts et al. (2012) pour une compilation et une classification détaillées des différents systèmes. Dotés d'un GPS et d'un système de navigation, les drones sont pilotés manuellement ou de manière autonome (autopilote). Ce dernier mode assure une planification interactive des vols et la constance des conditions de vol et routines de sécurité, permettant par exemple un atterrissage contrôlé en cas de forts vents. Du fait de leur charge utile, souvent faible, les drones sont dotés d'un appareil photo numérique captant les rayons visibles ou infrarouges proches (NIR). En 30 à 45 minutes en moyenne, ils couvrent une zone

allant jusqu'à 10 km² (Carrivick et al. 2013). Les dernières recherches ciblent une augmentation de la charge utile afin que les drones puissent embarquer des caméras multispectrales ou des scanners laser (Wallace et al. 2012, Berni et al. 2009). Comme les prises de vue aériennes classiques, les images des drones présentent des distorsions géométriques. La photogrammétrie, la reconnaissance d'image et les points d'ajustage mesurés de manière différentielle permettent d'obtenir des orthophotos haute résolution sans distorsion et des modèles de surface avec une précision de l'ordre de quelques centimètres (fig. 2).

Les drones présentent donc un potentiel considérable, spatial et temporel mais aussi en termes de coûts, pour la collecte ciblée de données haute résolution, à petite échelle et dans des régions difficiles d'accès. Le recensement des caractéristiques des surfaces et de la végétation (Berni et al. 2009, Rango et al. 2009), l'élaboration et la tenue d'inventaires, la documentation et l'évaluation de la dynamique des paysages (Hugenholtz et al. 2013, Peter et al. 2013, Niethammer et al. 2012) et la prospection géoarchéologique ou agricole (Mozas-Calvache et al. 2012, Annen et al. 2007, Hunt et al. 2005,

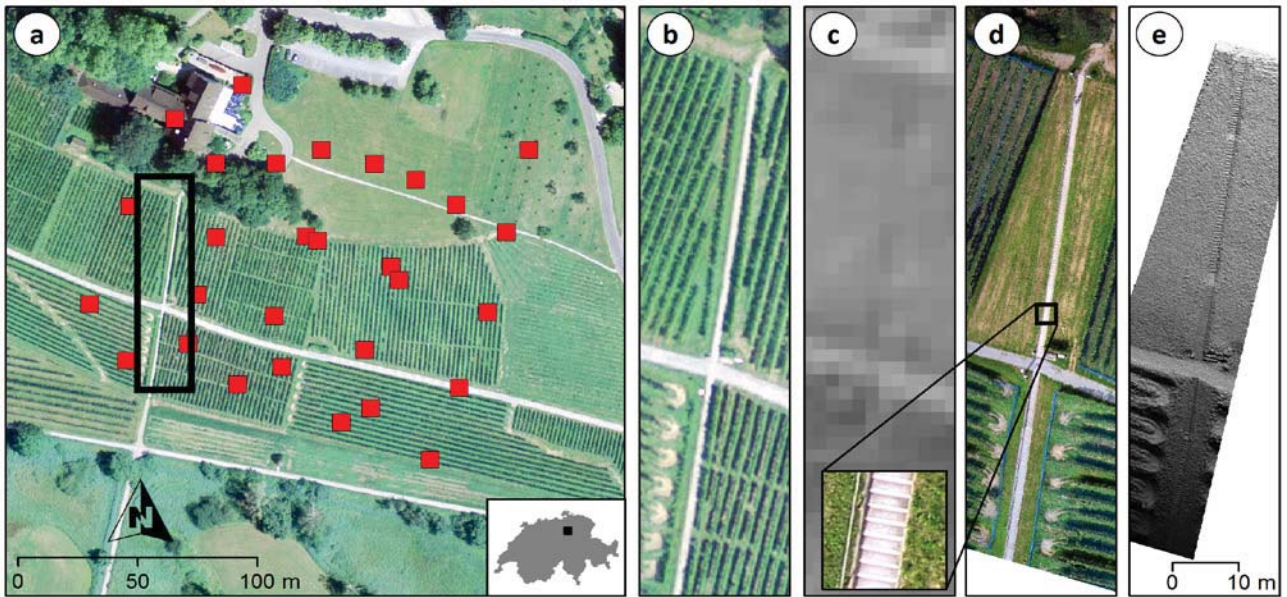


Abb. 2: Vereinfachter Flugplan einer Drohnenbefliegung der Halbinsel Au (ZH) mit der Lage der Bildaufnahmepunkte und einen Detailausschnitt des südexponierten Rebhangs (a). Im direkten Vergleich mit einem 25 cm Orthophoto (b) und der Schummerkarte eines 2m Höhenmodells (c) wird die hochauflösende Datenerfassung mit Drohnen besonders deutlich. Aus 29 Luftbildern wurden Orthophotos mit einer Auflösung von 5 cm (d) und ein Höhenmodell mit mehr als 50 Mio. Datenpunkten (e) und einer Lagegenauigkeit vom ± 3 cm berechnet.

Fig. 2: Plan de vol simplifié d'un drone au-dessus de la presqu'île d'Au (ZH) avec emplacement des prises de vue et vue détaillée de vignes exposées au sud (a). Une comparaison directe entre une orthophoto de 25 cm (b) et la carte d'estompage d'un modèle de hauteur de 2 m (c) met en évidence la haute résolution des données des drones. Des orthophotos avec une résolution de 5 cm (d) et un modèle de hauteur avec plus de 50 millions de points de données (e) et une précision planimétrique de ± 3 cm ont été calculés à partir de 29 vues aériennes.

und Quantifizierung der Landschaftsdynamik (Hugenholtz et al. 2013, Peter et al. 2013, Niethammer et al. 2012) sowie die geoarchäologische oder landwirtschaftliche Prospektion (Mozas-Calvache et al. 2012, Annen et al. 2007, Hunt et al. 2005, Herwitz et al. 2004) sind nur ein kurzer Auszug der in der Literatur beschriebenen Einsatzbereiche. Die zunehmenden Zitierungen von Publikationen mit Bezug zu Drohnen spiegeln als grober Indikator der Bedeutsamkeit der Methode auch die wachsenden Einsatzmöglichkeiten wider (Abb. 3).

Ausblick

In einer aktuell laufenden Bachelorarbeit des Studiengangs Umweltingenieurwesen der ZHAW wird eine Drohne zur Beurteilung der Pflegedringlichkeit alpiner Schutzwälder eingesetzt.

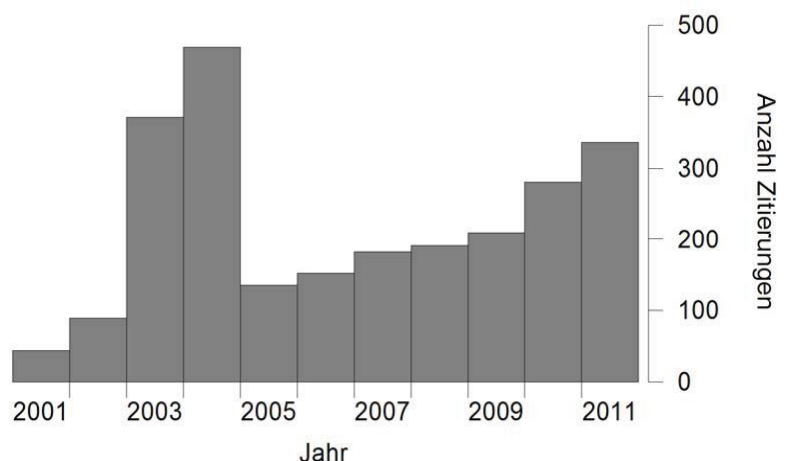
Herwitz et al. 2004) ne sont que quelques applications citées dans les ouvrages de référence. Toujours plus nombreuses, les citations des publications sur les drones reflètent la diversité croissante de leurs modes d'utilisation (fig. 3) et servent d'indicateur sommaire de la visibilité de la méthode.

Perspectives

Dans le cadre d'un travail de bachelor en ingénierie environnementale à la ZHAW, un drone est utilisé pour évaluer l'urgence des soins requis par les forêts protectrices. Très prometteurs, les premiers résultats démontrent l'applicabilité de la méthode (fig. 4). D'autres études de cas du projet portent par exemple sur le suivi d'écosystèmes fragiles (zones alluviales et marges proglaciaires). Plusieurs priorités ont été définies pour le processus de collecte

Abb. 3. Google Scholar Zitierungen für die Schlagwörter 'UAV' und 'Drone' in Kombination mit 'Remote Sensing' (verändert nach Carrivick et al. 2013). Der jährliche Anstieg lässt auf eine zunehmende Verwendung schliessen, wobei die hohen Werte der Jahre 2003 und 2004 im Kontext der Einführung der Autopiloten und Navigationssysteme zu sehen sind.

Fig. 3: Citations de Google Scholar pour les mots-clés «UAV» et «drone», associés à «Remote Sensing» (modifié selon Carrivick et al. 2013). La hausse annuelle traduit une utilisation croissante, les valeurs élevées de 2003 et 2004 devant être placées dans le contexte de l'introduction des systèmes de pilote automatique et de navigation.



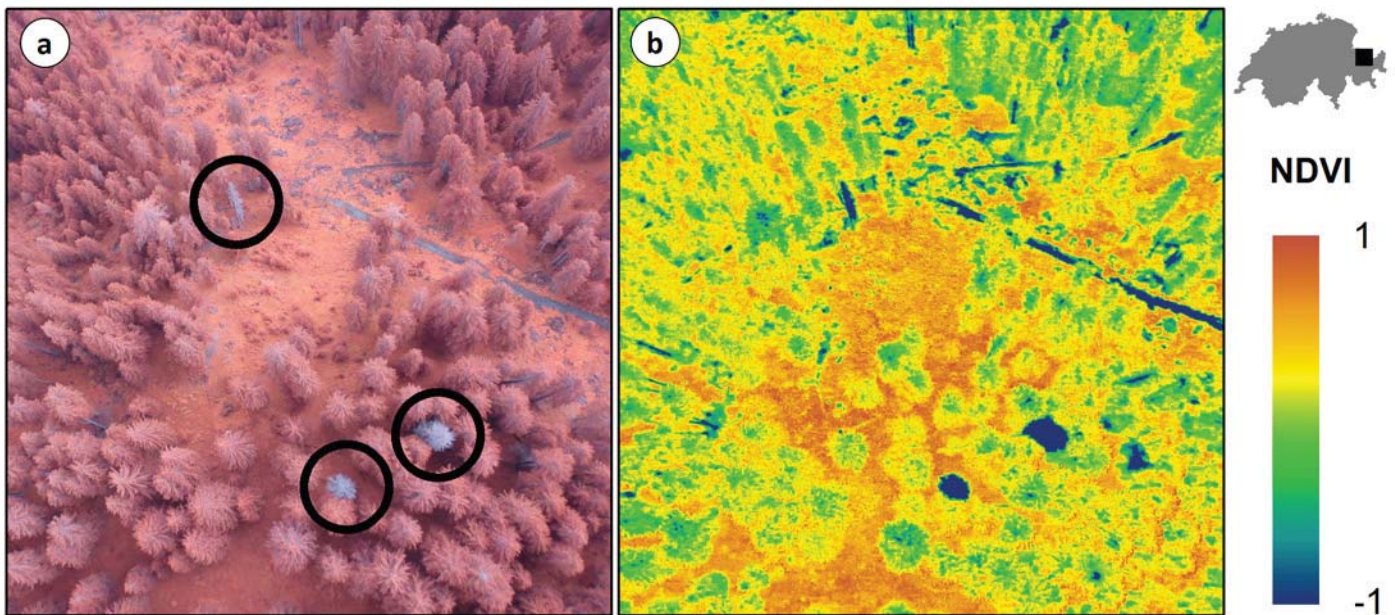


Abb. 4: Orthophoto im NIR Spektralbereich (a) und berechneter Vegetationsindex (b) eines nordost-exponierten Waldhangs in der Nähe von Klosters (GR, Datenerfassung: Clara Brunner). Der 'Normalized Differenced Vegetation Index (NDVI)' beschreibt das Verhältnis von rotem Spektralbereich zu nahem Infrarot und eignet sich gut zur Erkennung kranker oder abgestorbener Bäume. Sie reflektieren im Gegensatz zum vitalen Bestand kaum nahes Infrarot und sind durch Indexwerte gegen -1 deutlich ersichtlich.

Fig. 4: Orthophoto dans le domaine des NIR (a) et indice de végétation calculé (b) d'une pente boisée exposée au nord-est, à proximité de Klosters (GR, saisie des données: Clara Brunner). L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) présente le rapport spectre rouge/infrarouge proche et permet de repérer les arbres malades ou morts. Contrairement aux arbres vivants, ils reflètent peu d'infrarouges proches et sont clairement visibles avec une valeur d'indice se rapprochant de -1.

Erste Ergebnisse sind vielversprechend und zeigen die grundsätzliche Anwendbarkeit der Methode (Abb. 4). Weitere Fallstudien des Projektes beinhalten zum Beispiel das Monitoring sensibler Ökosysteme wie Flussauen und Gletschervorfelder. Dabei werden unterschiedliche Akzente entlang der Prozesskette der Datenerhebung und -auswertung gesetzt, da in Abhängigkeit der Fragestellung die Anforderungen an Lagegenauigkeit und räumliche Auflösung der Ergebnisse wie auch die zu erwartenden Kosten variieren. Mit systematischen Tests wird der Einfluss der Parameter der Datenerhebung (GPS Genauigkeit, Flugplan) und Auswertung untersucht und einer Sensitivitätsanalyse unterzogen. Dies ermöglicht eine differenzierte Evaluierung und Einordnung der Methodik im Hinblick auf Umsetzung, Machbarkeit, Qualitätsanforderungen und Kosten. Daraus werden anwendungsspezifische Protokolle und Handlungsempfehlungen für die Datenerhebung und -auswertung erarbeitet, die eine wichtige Grundlage für die praktische Anwendung im Berufsalltag bilden.

Kontakt
 DIPL. GEOGR. MARTIN GEILHAUSEN (PROJEKTLLEITER)
 Forschungsgruppe Geoinformatik
 martin.geilhausen@zhaw.ch
 +41 (0)58 – 934 5584

et de dépouillement des données, car la précision planimétrique et la résolution spatiale requises, de même que les coûts attendus varient en fonction de la problématique. Des tests systématiques permettent d'étudier les conséquences de la précision du positionnement ainsi que des paramètres de planification et d'évaluation du vol, avant de soumettre les résultats à une analyse de sensibilité. Cela débouche sur une évaluation et une classification méthodologique différenciée de la mise en œuvre, de la faisabilité, des exigences de qualité et des coûts. Il en résulte des protocoles et recommandations spécifiques pour la collecte et le dépouillement des données, qui constituent un principe essentiel d'application pratique au quotidien.

Responsables du projet et interlocuteurs
 MARTIN GEILHAUSEN (CHEF DE PROJET)
 Groupe de recherche Géoinformatique
 martin.geilhausen@zhaw.ch, +41 (0)58 – 934 5584

PROF. RETO RUPF (CHEF DE PROJET SUPPLÉANT)
 Groupe de recherche Planification environnementale
 reto.rupf@zhaw.ch. +41 (0)58 – 934 5584

Université des sciences appliquées de Zurich (ZHAW)
 Institut de l'environnement et des ressources naturelles
 Grüental
 CH-8820 Wädenswil

PROF. RETO RUPF (STV. PROJEKTLEITER)

Forschungsgruppe Umweltplanung

reto.rupf@zhaw.ch

+41 (0)58 – 934 5584

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen

Grüntal

CH-8820 Wädenswil

Weiterführende Literatur

- Annen et al. (2007): Einsatz von Mikro- und Minidrohnen für Fernerkundungsaufgaben in der agrochemischen Forschung und Entwicklung. *Geomatik Schweiz* 6/2007: 288-290.
- Bergamini A. & R. Holderegger (2012): Die Wirkungskontrolle Biotopschutz Schweiz: Ein Monitoringsprogramm im Aufbau. *N+L Inside* 2012(1): 14-20.
- Berni et al. (2009): Thermal and narrow-band multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 47: 722-738.
- Campbell, J.B. & R.H. Wynne (2011): *Introduction to Remote Sensing*. 5th Edition, 667pp. Guilford Press. New York.
- Carrivick et al. (2013): Developments in budget remote sensing for the geosciences. *Geology Today* 29(4): 138-143.
- Herwitz et al. (2004): Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. *Computers and Electronics in Agriculture* 44: 49-61.
- Hughenoltz et al. (2013): Geomorphological mapping with a small unmanned aircraft system (sUAS): Feature detection and accuracy assessment of a photogrammetrically-derived digital terrain model. *Geomorphology* 194:16-24.
- Hunt et al. (2005): Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture* 6: 359-378.
- Mozas-Calvache et al. (2012): Method for photogrammetric surveying of archaeological sites with light aerial platforms. *Journal of Archaeological Science* 39(2): 521-530.
- Niethammer et al. (2012): UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. *Engineering Geology* 128: 2-11.
- Peter et al. (2013): Soil erosion in gully catchments affected by land-leveling measures in the Souss Basin, Morocco, analysed by rainfall simulation and UAV remote sensing data. *Catena* 113: 24-40.
- Rangiet et al. (2009): Unmanned aerial vehicle-based remote sensing for rangeland assessment, monitoring, and management. *Journal of Applied Remote Sensing* 3(1): 033542.
- Van Blyenbrug (1999): UAVs: and Overview. *Air & Space Europe I* (5/6): 43-47.
- Wallace et al. (2012): Assessing the feasibility of UAV-based LIDAR for high resolution forest change detection. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIX-B7: 499-504*.
- Watts A.C., et al. (2012): Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. *Remote Sensing* (4): 1671-1692.

Bibliographie

- Annen et al. (2007): Einsatz von Mikro- und Minidrohnen für Fernerkundungsaufgaben in der agrochemischen Forschung und Entwicklung. *Geomatik Schweiz* 6/2007: 288-290.
- Bergamini A. & R. Holderegger (2012): Suivi des effets de la protection des biotopes en Suisse: programme de monitoring en cours d'élaboration. *N+P Inside* 2012(1): 14-20.
- Berni et al. (2009): Thermal and narrow-band multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 47: 722-738.
- Campbell, J.B. & R.H. Wynne (2011): *Introduction to Remote Sensing*. 5th Edition, 667pp. Guilford Press. New York.
- Carrivick et al. (2013): Developments in budget remote sensing for the geosciences. *Geology Today* 29(4): 138-143.
- Herwitz et al. (2004): Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. *Computers and Electronics in Agriculture* 44: 49-61.
- Hughenoltz et al. (2013): Geomorphological mapping with a small unmanned aircraft system (sUAS): Feature detection and accuracy assessment of a photogrammetrically-derived digital terrain model. *Geomorphology* 194:16-24.
- Hunt et al. (2005): Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture* 6: 359-378.
- Mozas-Calvache et al. (2012): Method for photogrammetric surveying of archaeological sites with light aerial platforms. *Journal of Archaeological Science* 39(2): 521-530.
- Niethammer et al. (2012): UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. *Engineering Geology* 128: 2-11.
- Peter et al. (2013): Soil erosion in gully catchments affected by land-leveling measures in the Souss Basin, Morocco, analysed by rainfall simulation and UAV remote sensing data. *Catena* 113: 24-40.
- Rango et al. (2009): Unmanned aerial vehicle-based remote sensing for rangeland assessment, monitoring, and management. *Journal of Applied Remote Sensing* 3(1): 033542.
- Van Blyenbrug (1999): UAVs: and Overview. *Air & Space Europe I* (5/6): 43-47.
- Wallace et al. (2012): Assessing the feasibility of UAV-based LIDAR for high resolution forest change detection. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIX-B7: 499-504*.
- Watts et al. (2012): Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. *Remote Sensing* (4): 1671-1692.