

# Drohnenbasierte Umweltbeobachtung und Kartierung basierend auf einem Virtuellen Globus

HANNES EUGSTER<sup>1</sup>, KEVIN FLÜCKIGER<sup>1&2</sup> & STEPHAN NEBIKER<sup>1</sup>

*Mini- und Mikrodrohnensysteme sind attraktive mobile Aufnahmeplattformen für die kostengünstige, vielseitig einsetzbare und rasche Geodatengewinnung. Gerade die kombinierte Nutzung dieser Geodatenerfassungstechnik mit 3D-Geoinformationsdiensten hat ein grosses Potential für die Realisierung von Echt- oder Nahechtzeitanwendungen in den Bereichen Infrastrukturüberwachung und Monitoring bis hin zur Entscheidungsunterstützung bei Waldbränden oder anderen Naturkatastrophen. Dieser Beitrag fasst die während des KTI-Forschungsprojektes UAVision umgesetzten Entwicklungen zusammen und präsentiert erste Erfahrungen und Ergebnisse der realisierten Lösung. Im Fokus von UAVision steht die Entwicklung einer Systemlösung bestehend aus unterschiedlichen Hardware- und Softwarekomponenten zur umfassenden Unterstützung von Mini- und Mikrodrohnenbasierten Überwachungs- und Kartierungsmissionen. Die Umsetzung dieser Ziele erfolgt durch Kombination des an der Fachhochschule Nordwestschweiz entwickelten virtuellen Globus i3D mit innovativen photogrammetrischen Verfahren sowie einem neuartigen drahtlosen Datenlink, welcher die simultane und robuste Übertragung von digitalen Videodaten, hochaufgelösten Bildern und Telemetriedaten ermöglicht. Damit wird die Planung und Durchführung von drohnenbasierten Geodatenakquirierungsmissionen möglich, welche die zeitnahe Aktualisierung der Geodatengrundlage eines 3D-Geoinformationsdienstes gewährleistet.*

## 1 Einleitung

Unbemannte Flugsysteme (UAS) in unterschiedlichen Grössen und Einsatzklassen werden heute auf dem Markt angeboten, welche diverse Geosensoren für die Fluglagebestimmung und Geodatenerfassung integrieren. Zudem erlauben viele unbemannte Flugsysteme die autonome- oder benutzerunterstützte Navigation. Auf Seite der Geodatenvisualisierung stehen heute verschiedenste 3D-Geoinformationsdienste auf der Basis virtueller Globen zur Verfügung. Interaktive 3D-Geoinformationsdienste werden immer häufiger für Anwendungen in den Bereichen automatisierte Infrastruktur- oder Waldbrandbeobachtung sowie zur Entscheidungsunterstützung nach Naturkatastrophen eingesetzt, was jedoch eine möglichst aktuelle Geodatengrundlage erfordert. Die in diesen Diensten verwendeten Orthobilddaten sind selten aktuell und eine Echt- oder Nahechtzeit-Geodatenintegration ist meist nicht vorgesehen. Mikro- und Minidrohnensysteme sind flexibel einsetzbare Aufnahmeplattformen für die Erfassung georeferenzierter Video- und Bilddaten. Damit eignen sie sich speziell als effiziente und kostengünstige Geodatenerfassungsplattform für die Realisierung eines 3D-Geoinformationsdienstes mit einer aktuellen Geodatenbasis.

---

<sup>1</sup> Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Vermessung und Geoinformation, Gründenstrasse 40, CH-4132 Muttenz, E-Mail: (hannes.eugster,stephan.nebiker)@fhnw.ch

<sup>2</sup> SwissCopter AG, Länggasse 12, CH-3280 Murten, E-Mail: kevin.flueckiger@fhnw.ch

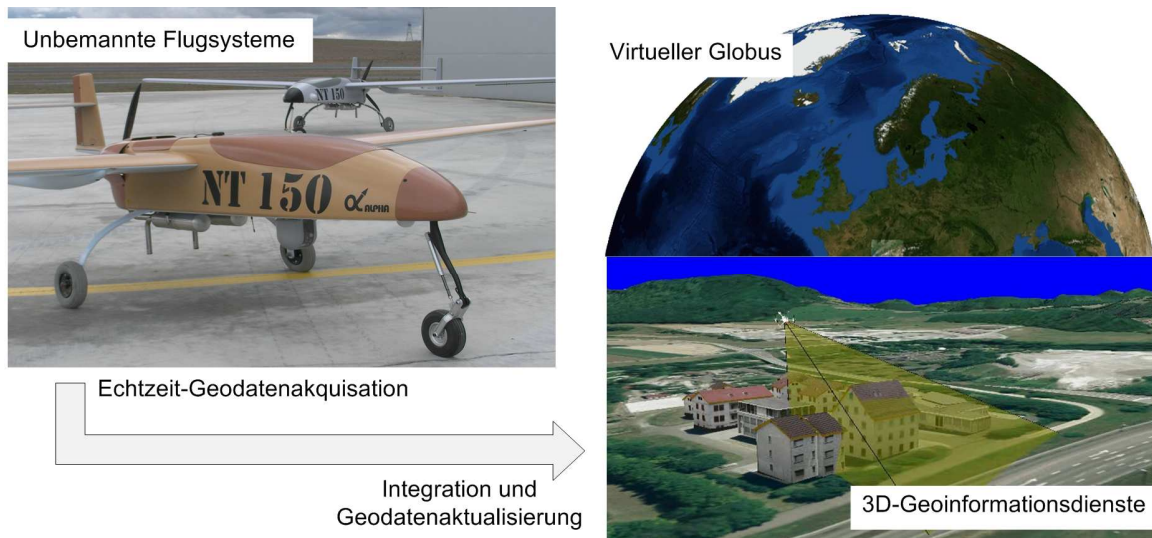


Abb. 1: UAS basierte Geodatenintegration und -Aktualisierung, Unbemannte Flugplattform NT150 SwissCopter AG (links) - Virtueller Globus i3D (rechts)

Der Beitrag gliedert sich in folgende Abschnitte: Als erstes wird die UAVision Systemarchitektur vorgestellt. Dabei wird im Speziellen die auf dem virtuellen Globus i3D (Christen und Nebiker, 2010) realisierte UAVision-Softwarelösung behandelt. Im nachfolgenden Abschnitt werden die Aspekte Video-Georeferenzierung und -Integration sowie die implementierte videobasierte Geokartierungsfunktionalität besprochen. Die Georeferenzierung der erfassten Geodaten erfolgt direkt aufgrund der vom Fluglagecontroller der Aufnahmeplattform zur Verfügung gestellten Fluglagedaten. Die erfassten und georeferenzierten Videodaten können wahlweise mit den beiden Ansätzen 'Augmented Monitoring' oder 'Virtual Monitoring' in Echtzeit oder *Offline* in den virtuellen Globus integriert werden. Konkrete Anwendungen sowie erste Erfahrungen mit UAVision werden anschliessend in Abschnitt 4 präsentiert. Zum Schluss folgen ein kurzes Fazit und ein Ausblick auf anstehende Entwicklungen.

## 2 UAVision Systemlösung

Unter dem Begriff Unbemannte Flugsysteme (engl. *Unmanned Aircraft System* - UAS) versteht man im Allgemeinen eine vollständige Systemlösung, die den Betrieb einer unbemannten Flugplattform gewährleistet (Weatherington, 2005). Ein UAS besteht typischerweise aus der Unbemannten Flugplattform mit Navigationseinheit selbst, den zusätzlichen Nutzsensoren, z.B. für die Erfassung von Geodaten, der Bodenkontrollstation sowie aus der Telemetrie- oder Datenübertragungskomponente. Die unbemannte Flugplattform oder Drohne selbst wird in dieser Terminologie als *Unmanned Aircraft* (UA) bezeichnet, welche vollständig autonom oder ferngesteuert geflogen werden kann. Als Mini- und Mikrodrohnen werden Plattformen bezeichnet, die das maximale Abfluggewicht von 30kg bzw. 5kg nicht überschreiten. Eine Zusammenstellung aktueller Plattformsysteme für die zivile Nutzung und eine detaillierte Kategorisierung von UAS ist in Bento (2008) zu finden. Die entworfene UAVision Systemarchitektur und die dazu entwickelten Komponenten ermöglichen die Umsetzung einer

Gesamtsystemlösung, welche speziell auf die UA basierte Echtzeit-Geodatenakquisition und die anschliessende direkte Integration in 3D-Geoinformationsdienste fokussiert ist. Nachfolgend werden zuerst die Systemarchitektur und die involvierten Hardwarekomponenten vorgestellt. Im Anschluss wird detailliert auf die realisierte Softwarelösung eingegangen, welche die gesamte Prozesskette – von der Missionsplanung, über die Durchführung bis hin zur Integration und Nutzung der erfassten Geodaten – im virtuellen Globus unterstützt.

## 2.1 Systemarchitektur

Die Systemlösung setzt sich wie in Abb. 2 gezeigt aus den drei Segmenten unbemannte Flugplattform, Datenkommunikationsschicht und Bodenstation zusammen. Die entworfene Architektur ermöglicht den Einsatz unterschiedlicher unbemannter Flugplattformen instrumentiert mit anwendungsspezifischen Nutzsensoren wie Video- und Bildkameras oder weiteren Geosensoren. Vorausgesetzt wird eine integrierte Navigationseinheit oder Fluglageregelung welche eine autonome oder benutzerunterstützte Navigation ermöglicht. Prinzipiell können in UAVision unterschiedliche Navigationseinheiten eingesetzt werden. Zurzeit verwenden wir hierfür den Autopiloten der Firma UAVNavigation<sup>1</sup> inklusive Bodenkontrollstation und integriertem Datenlink. Die Steuerung und Kontrolle der Nutzsensoren und der Datenkommunikationskomponenten auf Plattformseite sowie die *Onboard*-Speicherung der erfassten Geodaten erfolgt über das UAVision *Payload*-Managementsystem. Dieses System besteht aus einer speziell für diesen Zweck entwickelten Hardwarekomponente mit integrierter SSD-Disk, auf welcher Windows XP zusammen mit anwendungsspezifischen Softwarepaketen betrieben werden. Die Bodenstation beinhaltet die zur Navigationseinheit gehörende Kontrolleinheit sowie die UAVision-Softwarelösung zur Planung, Durchführung und Auswertung der Geodatenakquisitionsmissionen. Die Funktionalität der UAVision-Softwarelösung ist im nachfolgenden Abschnitt 2.2 im Detail beschrieben. Die Kommunikationsschicht übernimmt die Übertragung der Navigationsdaten, Steuerbefehle und erfassten Geodaten zwischen Flugplattform und Bodenstation. Dazu werden zwei drahtlose digitale Datenlinks verwendet. Die Navigationsdaten und Steuerbefehle werden über den integrierten Datenlink der Navigationseinheit bidirektional übermittelt. Die während der Mission erfassten Geodaten werden über den speziell entwickelten unidirektionalen UAVision-Datenlink übertragen, welcher das simultane Übermitteln mehrerer Bild- und Datenkanäle ermöglicht. Unterstützt werden zurzeit ein PAL- sowie ein CameraLink-Kanal. Die realisierte Videokomprimierung erlaubt die Übertragung des PAL-Signals mit einer sehr geringen End-zu-End Verzögerung von weniger als 40ms. Möglich wird damit beispielsweise eine Remote-Pilotierung des UA's mit Hilfe eines virtuellen Cockpits. Bei dieser Anwendung können virtuelle Elemente wie Flughindernisse, ein künstlicher Horizont, Navigations- oder Systemzustandsdaten ins Cockpitvideo eingeblendet werden und so das manuelle Fliegen erheblich unterstützen. Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung dieses Anwendungsszenarios ist eine maximale Verzögerung der übermittelten Videodaten von 1-2 Frames.

---

<sup>1</sup> UAVNavigation: <http://www.uavnavigation.com/>

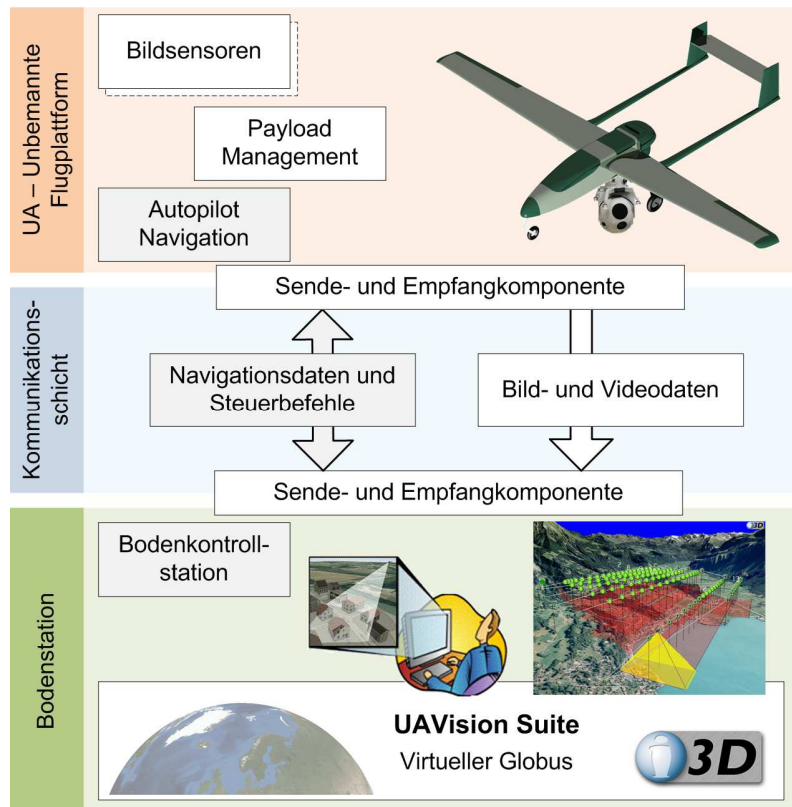


Abb. 2: UAVision Systemarchitektur und Hardwarekomponenten

## 2.2 Prozessierungskette und Softwarelösung

Die entwickelte UAVision-Softwarelösung besteht aus vier Modulen, welche die Durchführung von UAS-Geodatenakquisitionsmissionen ermöglicht – von der Planung, über die Durchführung bis hin zur Echtzeit- oder *Offline*-Integration und -Auswertung der erfassten Daten in 3D-Geoinformationsdiensten. In Abb. 3 sind die Prozesskette sowie die realisierten UAVision Module aufgezeigt. Sämtliche Module verwenden als Basis den virtuellen Globus i3D.

### 2.2.1 Mission Planning & Simulation

UAS-Missionen können direkt auf dem virtuellen Globus geplant oder aus anderen Programmen importiert werden. Die Flugpläne enthalten Fluglinien und Wegpunkte, sowie Daten über die Steuerung der auf der Plattform mitgeführten Geodatensensoren. Beispielsweise können damit Flugplan abhängige Änderungen und die Steuerung der Aufnahme- und Datenübertragungskonfiguration geplant und verwaltet werden. Eine mögliche Anwendung ist die Planung einer photogrammetrischen Befliegung mit definierten Bildauslösepunkten.

### 2.2.2 Mission Control

Einmal geplante Missionen können mithilfe des Mission Control Moduls vollautomatisch durchgeführt und überwacht werden. Der Missionsstatus, d.h. die Plattformposition und -Ausrichtung sowie die Sichtkegel der aktuell betriebenen Bildsensoren, kann im 3D-View mitverfolgt werden während man fortwährend mit den wichtigsten Systemstatusinformationen

versorgt wird. Dabei ist es jederzeit möglich, in den Ablauf der Mission einzugreifen. Über das Mission Control Modul werden fortlaufend im Flugplan definierte Wegpunkte nachgeladen und flugplanbezogene Steuerbefehle automatisch ausgelöst und zur Plattform übermittelt. Die Steuerbefehle für die Geodatensensoren und den Bild- und Videodatenlink werden direkt vom UAVision *Payload*-Managementsystem verarbeitet und umgesetzt. Die während der Mission mit dem Datenlink übertragenen Bild- und Navigationsdaten können zusätzlich für eine spätere *Offline*-Verarbeitung aufgezeichnet werden.

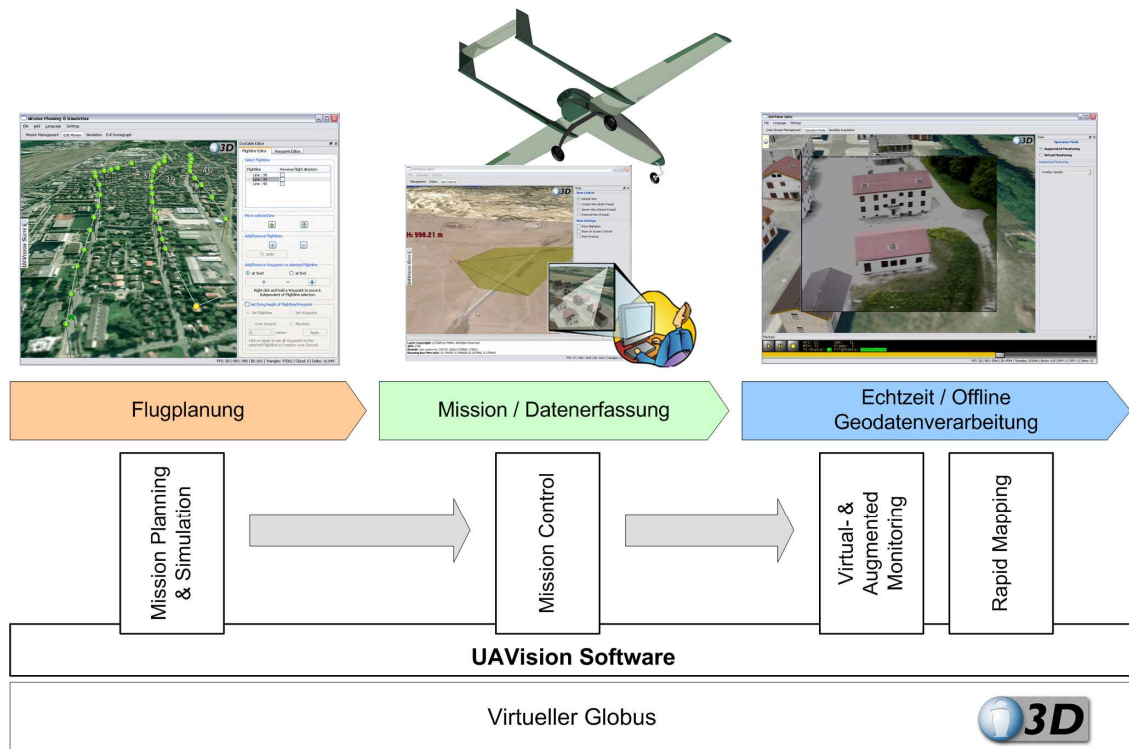


Abb. 3: UAVision Softwaremodule für UAS gestützte Geodatenakquisition

### 2.2.3 Virtual- und Augmented Monitoring

Dieses Modul unterstützt eine Verschmelzung der virtuellen Welt des Virtuellen Globus mit den erfassten Videodaten durch zwei Integrationsansätze wahlweise in Echtzeit oder *Offline*. Grundlage für die Integration bildet die implementierte Video-Georeferenzierungsfunktion, welche in Abschnitt 3 besprochen wird. Bei der ersten Variante, dem 'Augmented Monitoring', werden die georeferenzierten Videodaten mit den Objekten aus dem virtuellen Globus überlagert. Der zweite Ansatz, das 'Virtual Monitoring', erlaubt die Visualisierung des erfassten Videos in einem Graphikfenster und synchron dazu in einem zweiten Fenster die Darstellung der aktuellen Ausrichtung und Position des Aufnahmekegels der Videokamera in der virtuellen Welt (vgl. Abb. 4). Zudem stehen einfache Funktionen zur Verfügung, welche es erlauben, Ereignisse im Video auf dem virtuellen Globus zu verorten und zu verwalten.

## 2.2.4 Rapid Mapping

Ziel des Rapid Mapping Moduls ist es, Bilddaten vom UA in Nahezeit direkt in den virtuellen Globus zu integrieren. Dies erlaubt eine laufende Aktualisierung der Bilddatenbasis eines 3D-Geoinformationsdienstes, was eine völlig neue Qualität in der Beurteilung aktueller Ereignisse oder dynamischer Umweltprozesse ermöglicht.

## 3 Video-Georeferenzierung und Geodatenintegration

Das Augmented- und Virtual Monitoring-Modul setzt zum einen die Echtzeit-Georeferenzierung der erfassten Videodaten sowie die anschliessende direkte Integration dieser Bilddaten im virtuellen Globus voraus. Die implementierte Lösung basiert auf dem Ansatz der direkten Georeferenzierung (Mostafa und Hutton, 2005). Dazu werden die von der Navigationseinheit auf der unbemannten Aufnahmeplattform zur Verfügung stehenden Fluglagezustände direkt genutzt. Ein Fluglagezustand enthält die Plattformposition und -Ausrichtung bezüglich eines global gelagerten geodätischen Bezugssystems (z.B. WGS 84) und dessen Epoche bezüglich der UTC Zeitreferenz. Diese Daten werden in Echtzeit, parallel zu den aufgenommenen Videodaten, zur Bodenstation übermittelt. Die anschliessende Georeferenzierung erfordert eine korrekte Synchronisation der Videodaten mit den Fluglagedaten. Zu diesem Zweck werden in das übermittelte Video zusätzliche Zeitstempelinformationen in UTC integriert. Die Georeferenzierung des erfassten Videos und die anschliessende Integration in den 3D-Geoinformationsdienst erfolgen mit der in UAVision implementierten Geo-Videoverarbeitungs-komponente. Als Basis verwendet diese Komponente einen Filter-Graph, mit welchem die Einzelbilder der Videosequenz sequentiell verarbeitet werden. Die benötigte Funktionalität für die Verarbeitung und Integration der Bilddaten in den virtuellen Globus ist dabei in sogenannten Filtern implementiert. Im ersten Filter wird die integrierte Zeitstempelinformation aus jedem Einzelbild extrahiert. Der zweite Filter bestimmt für die zur Verfügung stehenden Flugzustände nach der Gleichung der direkten Georeferenzierung unter Berücksichtigung der vorgängig für das Aufnahmesystem kalibrierten Fehlausrichtung und der Hebelarmkomponente die Parameter der äusseren Orientierung (Skaloud, 1999). Parallel dazu wird für jedes Frame aufgrund der extrahierten Zeitstempelinformation die gesuchte äussere Orientierung interpoliert beziehungsweise prädiert. Im Falle der Offlineverarbeitung kann die gesuchte Lösung immer interpoliert werden. Im Gegensatz dazu erfordert die Echtzeitprozessierung eine Prädiktion der Lösung, da die zur Verfügung stehenden äusseren Orientierungen aus den Fluglagedaten in einer tieferen Frequenz sowie meist zeitlich verzögert bei der Bodenstation vorliegen. Der letzte Filter stellt nun die berechnete äussere Orientierung zusammen mit der bekannten inneren Orientierung der verwendeten Kamera sowie das Einzelframe selbst der i3D Render-Engine zur Verfügung. Basierend auf dieser Information kann nun UAVision die Bilddaten in unterschiedlichen Formen in die 3D-Szenerie integrieren und darstellen. Die beiden zurzeit realisierten Integrationsansätze sind in Abb. 4 dargestellt. Weiterführende Informationen zur realisierten Video-Georeferenzierungslösung sind in (Eugster und Nebiker, 2008) zu finden. Für die Erfassung beliebiger Geoobjekte stellt das Augmented- und Virtual Monitoring-Modul zusätzlich eine Kartierungsfunktion zur Verfügung. Diese Funktion ermöglicht das interaktive Digitalisieren beliebiger Punkt-, Linien- und Polygonobjekte



direkt in der georeferenzierten Videosequenz. Die dazu benötigte Stützpunktbestimmung erfolgt nach dem Monoplottingverfahren durch den Schnitt des Aufnahmestrahls mit der in der 3D-Szenerie aktuell geladenen digitalen Höhenrepräsentation (Kraus und Waldhäusl, 1997, Kap. 6.5.3). Die erfassten Geobjekte können in Ebenen verwaltet und anschliessend beispielsweise in GIS-Lösungen genutzt werden.

## 4 Anwendungen und Erfahrungen

Erste Testflüge mit der UAVision-Systemlösung bestätigen das Potential einer UAS basierten Echtzeit-Bilddatenerfassung und einer direkten Integration in einen 3D-Geoinformationssystem. Bei diversen Testflügen und Systemtests in Amman (Jordanien), Marugan (Spanien) und Eiken (Schweiz) konnten die entwickelten UAVision-Softwaremodule und -Systemkomponenten erfolgreich validiert werden. Auf Basis des Softwaremoduls Augmented und Virtual Monitoring können unterschiedliche Monitoringanwendungen in den Bereichen Infrastrukturüberwachung, Waldbrandbekämpfung oder Personen- und Objektsuche realisiert werden. Die integrierte Kartierungsfunktion ermöglicht basierend auf den in Echtzeit integrierten Bilddaten die Digitalisierung beliebiger Geobjekte, welche beispielsweise anschliessend in Nahezeit mit einer GIS basierten Entscheidungsunterstützungsumgebung synchronisiert werden können. Nachfolgende Abbildung zeigt die beiden implementierten Integrationsansätze. Beim 'Augmented Monitoring' können beispielsweise wie dargestellt die kartierten Geobjekte sowie das bestehende Stadtmodell aus der 3D-Szene mit dem Video überlagert werden. Ergänzend dazu eignet sich das 'Virtual Monitoring' beispielsweise für die Videounterstützte Objektsuche im offenen Gelände.

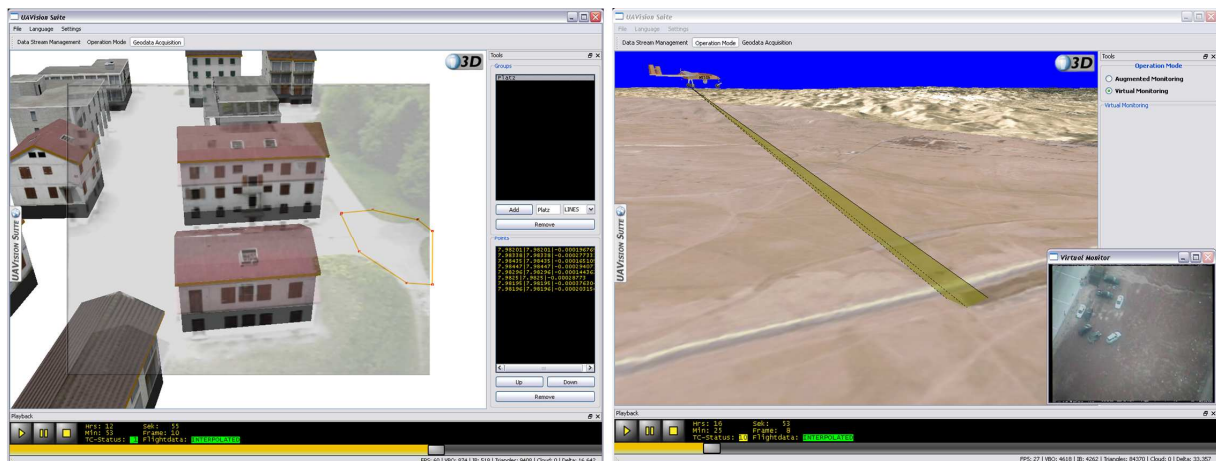


Abb. 4: Augmented Monitoring mit integrierter Kartierungsfunktion (links) und Virtual Monitoring Videodatenintegration (rechts)

## 5 Fazit und Ausblick

UAVision ermöglicht eine UAS unterstützte Echtzeit-Geodatenerfassung und -Integration in einen 3D-Geoinformationsdienst. Die entwickelte Systemlösung kann auf unterschiedlichen Flugplattformen kombiniert mit anwendungsspezifischen Geosensoren eingesetzt werden. Die implementierte UAVision-Software ermöglicht die Planung, Durchführung und Auswertung drohnenbasierter Geodatenakquisitionsmissionen. Die verfügbare UAVision-Software in Kombination mit dem implementierten *Payload-Management*system ermöglicht die künftige Umsetzung massgeschneiderter, anwendungsspezifischer Systemlösungen. Die UAVision Software wird laufend weiterentwickelt und soll künftig noch mehr Funktionalität in den Bereichen manuelle sowie automatische Geodatenauswertung beinhalten. Ferner werden auch weitere Integrations- und Darstellungsarten von Video- und Einzelaufnahmen untersucht und in die Software integriert. Die Industriepartnerin SwissCopter AG wird UAVision in ihr Produktportfolio aufnehmen und plant den kommerziellen Vertrieb von Gesamtsystemlösungen.

## 6 Dank

Das Forschungsprojekt UAVision wird von der schweizerischen Förderagentur für Innovation KTI finanziell mitunterstützt. Zudem möchten wir uns bei unseren UAVision-Projektpartnern SwissCopter AG in Murten, bei der GR-LSM Multimedia Group der EPF Lausanne und bei Nulink SA in Marin für die Zusammenarbeit bedanken.

## 7 Literaturverzeichnis

- BENTO, M. (2008). Unmanned Aerial Vehicles: An Overview. InsideGNSS, January/February, pp. 54-61.
- CHRISTEN, M. UND NEBIKER, S. (2010). Neue Entwicklungen im Bereich Virtueller Globen am Beispiel der i3D-Technologie. Dreiländertagung DGPF - OVG - SGPF. Wien.
- EUGSTER, H. UND NEBIKER, S. (2008). UAV-Based Augmented Monitoring - Real-Time Georeferencing and Integration of Video Imagery with Virtual Globes. XXI ISPRS Congress, Beijing.
- KRAUS, K. UND WALDHÄUSL, P. (1997). Photogrammetrie Band 1 - Grundlagen und Standardverfahren. Dümmler, Bonn.
- MOSTAFA, M. UND HUTTON, J. (2005). 10 Years of Direct Georeferencing for Airborne Photogrammetry. GIS. 11/2005.
- SKALOUD, J. (1999). Problems in Direct-Georeferencing by INS/DGPS in the Airborne Environment. ISPRS Workshop 'Direct versus Indirect Methodes of Sensor Orientation'. Barcelona.
- WEATHERINGTON, D. (2005). Unmanned Aircraft Systems (UAS) Roadmap 2005-2030 (3rd Edition) (DoD), U. D. o. D.