Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 102 (2011)
Heft: (10)

Artikel: Flugroboter als praktische Helfer
Autor: Eck, Christoph
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-856859

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

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

Flugroboter als praktische Helfer

Autonomes Scannen des Magnetfeldes mit einer Helikopterdrohne in verschütteten Gebieten

Die unbemannten, autonom fliegenden Flugsysteme haben in den letzten Jahren einen regelrechten Boom erlebt. Auch in zivilen Anwendungen gewinnen die Drohnen an Bedeutung. Das Einsatzpotenzial ist breit – eine Möglichkeit stellen Sucheinsätze dar, wie dies hier anhand eines Sucheinsatzes illustriert wird. Der Einsatz wurde nach einem Grubeneinsturz einer Braunkohlemine in der Osttürkei im Februar 2011 durchgeführt.

Christoph Eck

Der in den letzten zwei Jahrzehnten stattfindende Boom bei den unbemannten, autonom fliegenden Flugsystemen wird durch die Synthese von GPS-Navigation, miniaturisierten Sensoren und modernen Methoden der Regelungs- und Simulationstechnik ermöglicht [1, 2] . Allerdings wird das aufgebrachte Budget nahezu vollständig im militärischen Bereich verwendet. Entwicklungen für den zivilen Bereich werden fast ausschliesslich von Hochschulen und deren Spin-off-Unternehmen ermöglicht, die nicht durch militärische Drittmittel finanziert werden. Die Firma Aeroscout GmbH als Spin-off der ETH Zürich hat sich in den vergangenen Jahren mit anspruchsvollen Aufgaben für zivile Anwendungen auseinandergesetzt. Dieser Artikel beschreibt den Einsatz der Helikopterdrohne Scout B1-100 UAV für das automatisierte magnetische Scannen nach verschütteten Objekten.

Die Drohne wurde nach einem Grubeneinsturz einer Braunkohlemine in der Osttürkei im Februar 2011 (Bild 1), bei dem mehrere Personen verschüttet wurden, eingesetzt.

Schweizer Aktivitäten

Wichtiger Initiator der öffentlichen Schweizerischen UAV (Unmanned Aerial Vehicle) Aktivitäten ist der inzwischen emeritierte Professor für Regelungstechnik H.-P. Geering. Das einfache Ziel, die Mathematik der Regelungstechnik und deren Nutzen an einem eindrücklichen Beispiel für die Studierenden deutlich zu machen, führten damals zum Modellhelikopter als instabiles, dynamisches System, das von ungelernten Piloten nicht zu beherrschen ist. Unter seiner Anleitung sind mehrere Dissertationen entstanden [3].

Im Jahr 2001 entstand mit Beteiligung des Autors zunächst die Spin-off Firma weControl AG, welche sich zum Ziel gesetzt hat, den relativ grossen und unhandlichen Prototypen eines Autopiloten für Modellhelikopter zu verkleinern und für verschiedene Helikopter anzubieten. Zu diesem Zeitpunkt verfasste Jacques Chapuis einen ersten Artikel für das Bulletin SEV/VSE unter dem Titel «Ein Modellhelikopter wird zum Hightech-Werkzeug»[4].

Da die Integration eines Autopiloten in einen Helikopter ganz neue Anforderungen an die Zuverlässigkeit, die Konstruktion und den Wartungsaufwand des Helikopters stellt, wurde im Jahr 2005 die Firma Aeroscout GmbH gegründet, mit dem Ziel eine autonome, industriell gefertigte Helikopterdrohne mit ansehnlicher Nutzlast für unterschiedliche Anwendungen anzubieten. Im Rahmen eines EU-Projektes unter der Leitung von Prof. R. Siegwart von der ETH Zürich konnte zunächst die erfolgreiche Integration eines hochpräzisen Lasersystems auf die Helikopterdrohne demonstriert werden, mit dem von einem vorab definierten Fluggebiet ein präzises 3D-Modell erstellt werden konnte.

Seit Frühjahr 2010 bestand der Kontakt zur deutschen Firma Mobile Geophysical Technologies (MGT), welche unterschiedliche geophysikalische Auswertungen durchführt. In Zusammenarbeit mit der Hochschule Luzern wurde die Entwicklung eines hochauflösenden, am UAV-Helikopter integrierten Magnetsensors ermöglicht. Damit besteht die Möglichkeit, ein Gebiet automatisch magnetisch zu scannen und durch Objekte verursachte Variationen im homogenen Erdmagnetfeld zu detektieren.

Systemintegration

Als Trägerplattform dient der von der Firma Aeroscout kommerziell produzierte Helikopter Scout B1-100 UAV (Bild 2).

Christoph Eck

Bild 1 Das Unglücksgebiet in der Osttürkei, bei dem eine Tagebau-Braunkohlemine kollabiert ist. Die ursprüngliche Tiefe der Grube für den Kohleabbau wurde um fast 100 m aufgefüllt.

Benedikt Imbach

Bild 2 Der Scout B1-100 UAV-Helikopter während eines Testflugs in der Schweiz mit einem Bleigewicht von rund 15 Kilo.

Dieser Helikopter besitzt einen Hauptrotordurchmesser von 3,2 m. Das Leergewicht ohne Sensorik, Batterien und Sprit beträgt etwa 45 kg. Die Nutzlast von etwa 30 kg verteilt sich standardmässig auf Sprit (9 kg), Autopilot (4 kg), Batterien (2 kg) und sonstige Nutzlasten (15 kg). Dies führt zu einem maximalen Startgewicht von rund 75 kg je nach Höhe über Meer (AMSL). Die Flugdauer beträgt in dieser Konfiguration je nach Flugprofil und dem Anteil Schwebeflug ausserhalb des Bodeneffektes etwa 1,5 h.

Der integrierte Autopilot ermöglicht einen vollständig autonomen Start, den Reiseflug entlang GPS-Koordinaten sowie die automatische Landung. Bei einem Ausfall der seriellen Funkverbindung zur Bodenstation kann der Helikopter seine Mission selbständig abbrechen und zu einem vorab definierten «Home»-Wegpunkt reisen, dort landen und schliesslich den Motor abstellen. Steht ein geschulter Pilot in Sichtkontakt mit dem Helikopter, kann dieser auch jederzeit die manuelle Kontrolle übernehmen. Die Bodenstation visualisiert typischerweise die Flugmission und die aktuellen Flugparameter wie Lage, Position, Geschwindigkeit, GPS-Empfangsstatus und Batteriespannungen.

Die Nutzlast ist in diesem Fall ein hochauflösender Magnetsensor mit dem entsprechenden Datenlogger.

Datenlogger

Der an der Hochschule Luzern entwickelte Datenlogger besitzt einen A/D-Wandler und kann mit konfigurierbarer Datenrate die analogen Messsignale des Magnetsensors auf einer SD-Karte abspeichern. Er wird über einen seriellen Port konfiguriert. Eine zweite Schnittstelle ermöglicht die zusätzliche Speicherung der aktuellen Positionsmesswerte und der entsprechenden GPS-Zeit, mit denen in der Auswertung ein 3D-Profil für die Variationen des Erdmagnetfeldes berechnet werden kann.

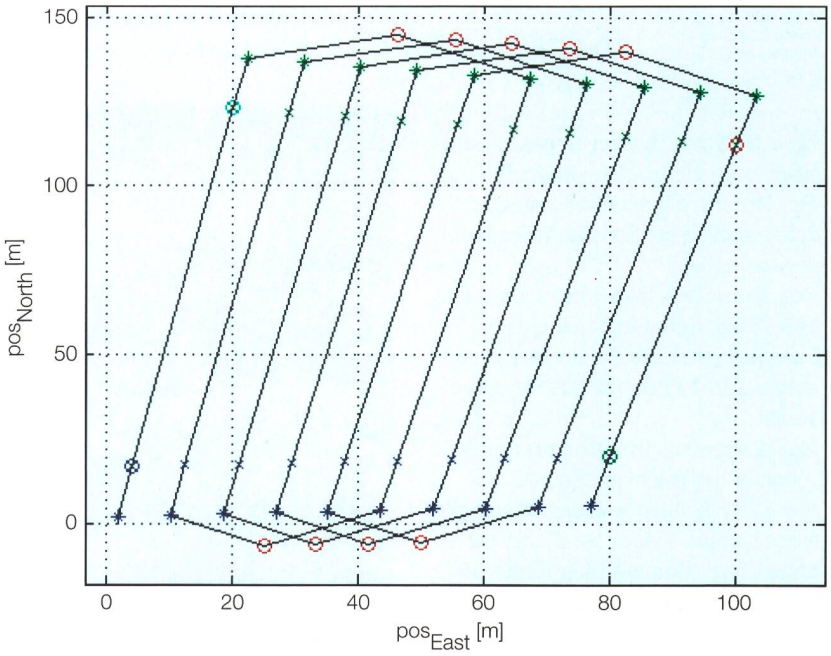
Obwohl meist nur die Position und die Gesamtintensität des Magnetfeldes interessieren, werden alle drei Magnetfeld-Komponenten (x/y/z) gespeichert, aus denen auch die Richtung des jeweiligen Magnetfeld-Vektors berechnet werden kann.

Ein Akku speist den Datenlogger und den angeschlossenen Magnetsensor. Das Gewicht des Loggers beträgt etwa 200 g.

Aufgrund seiner hohen Empfindlichkeit wird der Magnetsensor in einigem Abstand zum Helikopter montiert, damit die Bordelektronik und die Zündung des Motors die Messungen nicht verfälschen.

Missionsplanung

Die eigentliche Herausforderung der Missionsplanung bestand darin, das gesamte zu untersuchende Gebiet sehr gleichmässig zu scannen. Dies bedeutet, dass es keine Abweichungen von der Referenztrajektorie geben soll – weder beim Beschleunigen, beim Abbremsen noch durch den Einfluss von Wind. Die Fluglinien liegen in einem vordefinierten Abstand zueinander. Bei den Flugtests für eine hohe magnetische Auflösung ist der Linienabstand lediglich 1 bis 2 m. Gleichzeitig muss die Flughöhe über Boden im cm-Bereich eingehalten werden. Je näher der Sensor bei der Oberfläche ist, desto höher ist die Auflösung von Objekten. Diese Anforderungen in der Positionsgenauigkeit bedeuten, dass das GPS um ein differentielles GPS (DGPS) erweitert wird. Die Bestimmung der Position ist so mit einer Standardabweichung unter



Christoph Eck

Bild 3 Ein Beispiel für die Flugplanung mit mehreren Fluglinien, die jeweils mit GPS-Positionskoordinaten vorgegeben sind.

10 cm möglich. Die Fluggeschwindigkeit und die Datenrate für den Magnetlogger werden durch die gewünschte magnetische Positionsauflösung bestimmt. Typischerweise beträgt die Reisegeschwindigkeit 2 bis 6 m/s und die Datenrate des Loggers 50 bis 100 Hz. Um die magnetischen Messdaten später mit der Position korrelieren zu können, müssen zu jedem Zeitpunkt die Position und Richtung des Magnetsensors sowie der aktuelle Messwert abgespeichert werden. Die zeitliche Synchronisation erfolgt dabei über das 1-Sekunden-Pulssignal des GPS-Empfängers. Zudem besitzt der Datenlogger eine interne Uhr (internal clock).

Die Flugplanung für den Autopiloten erfolgt mit einem XML-Skript, in dem die jeweils anzufliegenden GPS-Wegpunkte aufgelistet sind. Zudem beinhaltet dieses Skript die zugehörige Reisegeschwindigkeit zum Wegpunkt und das Verhalten des Helikopters beim Wegpunkt. Dies kann ein Stop (Übergang in den Schwebeflug), ein Stop-and-Go (Abbremsen auf 0 m/s und anschliessend direkt wieder Beschleunigen und Weiterfliegen) oder ein Cruise (Vorbeiflug) sein. Um bei der Wendung keine Schwingung anzuregen, wird die Reisegeschwindigkeit zunächst reduziert, dann erfolgt der Kurvenflug und schliesslich die Beschleunigung und der Rückflug auf einer neuen Fluglinie (Bild 3).

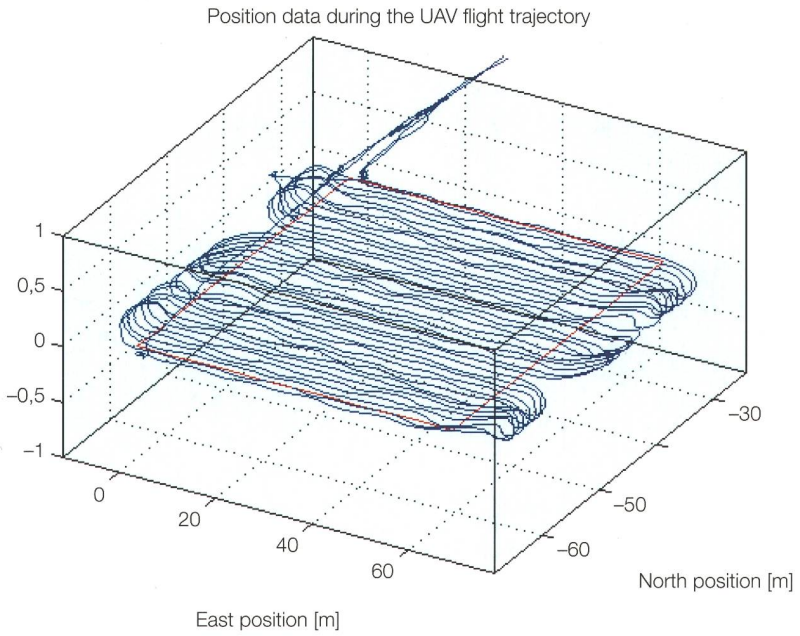
Ein Ausschnitt aus dem XML-Skript lautet etwa:

```
<Point Number=»0» Speed=»5» Behaviour=»stop»
Class=»WpAbsolute» Payload=»disable»>
<RelativeData Northing=»0» Easting=»0» Relative-
Height=»0»/>
<AbsoluteData Longitude=»8.283» Latitude=»46.9359»
AmslHeight=»480.0»/>
</Point>
```

Eine Fluglinie besitzt somit 4 Wegpunkte:

- Der Anfang der Fluglinie und gleichzeitig der Start für die Beschleunigungsphase.
- Das Eintreffen in das zu scannende Feld (konstante Geschwindigkeit).
- Das Verlassen des Feldes und gleichzeitig der Beginn des Abbremsvorgangs.
- Das Einleiten des Kurvenradius mit reduzierter Geschwindigkeit.

Um die Flugdauer ausserhalb des zu untersuchenden Feldes möglichst gering zu halten, ist es sinnvoll, mehrere Streifensegmente aneinanderzuhängen. Dabei wird auch berücksichtigt, dass der Kurvenradius des Helikopters nicht beliebig klein gemacht werden kann. In der Folge ergeben sich spiralförmige Flugbahnen, die das Feld nach und nach abdecken. Der Vorteil ist dabei, dass nun der Linienabstand beliebig verkleinert werden kann.



Christo

Bild 4 Reale Flugbahn während eines Flugtests mit einem Linienabstand von nur 1 m.

Es zeigt sich, dass bei zahlreichen Fluglinien die Anzahl Wegpunkte sehr rasch ansteigt und es empfiehlt sich, diesen Prozess zur Generierung der Wegpunkte und des Skriptes für die Abspeicherung der Mission zu Automatisieren. Im vorliegenden Fall wurde ein entsprechendes Matlab-Programm erstellt. Bereits nach der Initialisierungsphase des Helikopters auf dem Feld kann das Missionsfile an den Bordrechner gesendet werden. Das Missionsfile enthält zwingend auch den «Home»-Wegpunkt im Falle des Missionsabbruchs durch den Operator am Boden oder bei Verlust der Datenverbindung zwischen Helikopter und Bodenstation.

Resultate

Aus Sicht des Autors sind insbesondere die Resultate zur Missionsplanung und zur Fluggenauigkeit interessant [5].

Unterschiedliche Tests haben gezeigt, dass sowohl für die Reisegeschwindigkeit als auch für den Kurvenradius sehr gute Lösungen rasch gefunden werden können. Diese basieren immer auf den jewei-

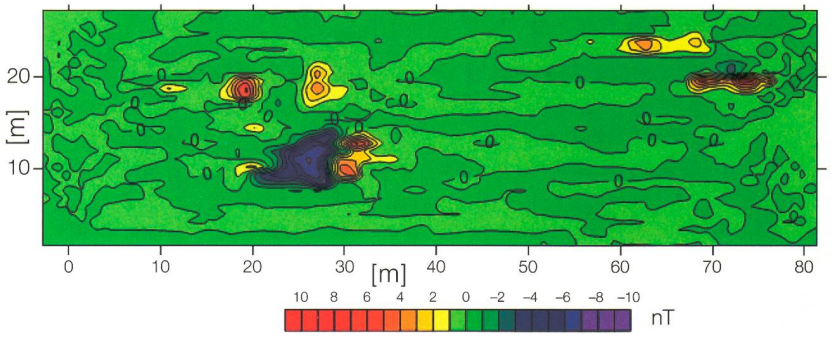
Christoph Eck

Bild 5 Der Scout B1-100 UAV-Helikopter im Einsatz für das automatische, magnetische Scannen nach dem Grubenunglück.

ligen räumlichen Bedingungen sowie auf den momentanen Wind- und Wetterbedingungen. Die Auswertung der Flüge zeigt eine gute Abdeckung des interessierenden Feldes (Bild 4) und in der Folge auch eine sehr gute und effiziente Möglichkeit, magnetische Objekte auch tatsächlich zu detektieren.

Um die Magnetikdaten auswerten zu können, ist eine entsprechende Kalibrierung des hochauflösenden Magnetsensors notwendig. Diese kann am besten vorab in einem Prüflabor erzielt werden.

Die Auswertung der magnetischen Daten wurde von der Firma MGT durchgeführt (Bild 6). Dabei bedarf es weiterer Kenntnisse zur Sensormodellierung sowie der Filterung der stochastischen Messdaten. Sowohl bei Testflügen als auch bei den Flügen in der Türkei konnten verschiedene Objekte detektiert und lokalisiert werden. Damit wurde die Möglichkeit geschaffen, nach einem grossflächigen Erdrutsch an gezielten Orten Grabungen durchzuführen. Je nach Lage, Grösse und Tiefe unter der Oberfläche des Objektes unterscheidet sich das resultierende magnetische Totalfeld.



Dr. Johannes, B. Stoll

Bild 6 Resultierende magnetische Feldstärke, die bei UAV-basierten Messungen erzielt werden konnte. Die detektierten Objekte sind deutlich zu erkennen.

Weitere Anwendungsgebiete

Dank seiner Nutzlast bestehen für den Scout B1-100 UAV-Helikopter zahlreiche weitere Anwendungsmöglichkeiten. Standardmässig können kreiselstabilisierte Foto- und Filmkameras integriert werden. Hierbei ermöglicht der Gimbal die Ausrichtung der Kamera unabhängig von der Orientierung des Helikopters. Solche Systeme werden für Überwachungs-, Inspektions-, Werbe- oder Dokumentationszwecke eingesetzt. Dabei können die Kameras auch durch eine IR-Kamera ersetzt werden, mit der beispielsweise landwirtschaftliche Auswertungen hinsichtlich Bodenfeuchtigkeit, Insektenbefall oder zur Wildzählung möglich werden. Präzise photogrammetrische Systeme eignen sich zur Vermessung und Dokumentation. Temperaturverläufe und Verschmutzungsgrad von Flüssen können mit speziellen Messsystemen erfasst werden. Neue Anwendungen beschäftigen sich mit Radarsystemen, z.B. zum Auffinden von Verschütteten in Lawinen. Die gesamte Bandbreite der UAV-Anwendungen findet man über die unten angegebenen Links.

Résumé

Un robot volant servant d'auxiliaire pratique

Le balayage autonome du champ magnétique à l'aide d'un hélicoptère drone dans les zones ensevelies

Les systèmes de vol sans pilote et autonomes ont connu un véritable boom au cours des dernières années. Parallèlement à leur utilisation militaire, les drones prennent également de l'importance au niveau des mises en œuvre civiles. Leur potentiel d'utilisation est vaste, les interventions de recherche représentant une possibilité. Exemple de réussite en la matière : en février 2011, une intervention de recherche a été effectuée dans l'est de la Turquie après l'écroulement d'un puits dans une mine de lignite. L'exploitation des vols offre une bonne couverture du champ intéressant et par la suite également une très bonne possibilité efficace de détecter réellement les objets magnétiques. No

Lessons learned

Der vorliegende Beitrag gibt einen kurzen Einblick in die vielseitigen Möglichkeiten der Anwendungen von unbemannten Flugsystemen. Der Fokus liegt hierbei nicht auf den typischen, militärischen Anwendungen, die im Allgemeinen den Eindruck von Helikopterdrohnen dominieren, sondern zeigt auf, welche weiteren Anwendungen in der Zukunft zu erwarten sind, sobald sich UAV-Hersteller und andere Fachdisziplinen aus der Biologie, der Physik, der Geophysik, der Raumplanung, usw. zusammentun.

Auch im vorliegenden Fall musste eine gemeinsame Sprache gefunden werden, da jede Fachrichtung eigene technische Begriffe verwendet. Gemeinsam musste man sich herantasten an Begriffe wie Echtzeit, Genauigkeit, Auflösung, Rauschen und Synchronisierung. Ohne Klärung der Begriffe und Zielsetzungen wäre es nicht möglich gewesen, das Gesamtsystem zu realisieren. Auch hinsichtlich gewünschter und machbarer Performance musste schliesslich ein Kompromiss gefunden werden, da auch hier – wie in allen Projekten – ein vereinbarter Kosten- und Zeitaufwand eingehalten werden musste. Aus Sicht des Autors konnte ein eindrucksvolles Resultat erzielt werden, obwohl die Missionsplanung und die geforderte Flugpräzision für diese Anwendung weit über die üblichen Anforderungen für UAV-Flugsysteme hinausgehen.

Links

- www.aeroscout.ch
- www.mgt-geo.de
- www.hslu.ch/technik-architektur/
- www.uav-g.ethz.ch
- www.auvsi.org
- www.uvs-international.org
- www.uasvision.com

Referenzen

[1] Jacques Chapuis, Markus Kottmann, Marco Sanvido, Oliver Tanner, «Control of Complex Systems», Springer, 2000.
[2] Christoph Eck, Jacques Chapuis, Hans P. Geering, «Entwicklung einer Helikopterdrohne für den wissenschaftlichen Einsatz», 16. Fachgespräch «Autonome Mobile Systeme (AMS 2000), Karlsruhe.
[3] Christoph Eck, «Navigation Algorithms with Applications to Unmanned Helicopters», Ph.D. Thesis, ETH Zürich, Diss. ETH No. 14402, 2001.
[4] Jaques Chapuis, Christoph Eck, Markus Kottmann, Bulletin SEV/VSE, 3/1998, S. 17–20.
[5] Christoph Eck, Erich Styger, Benedikt Imbach, Johannes Stoll, «Mission Planning and Flight Precision Analysis for Autonomous Aerial Magnetic Scanning», American Institute of Aeronautics and Astronautics, Guidance, Navigation, and Control Conference 2011, Portland, OR, USA.

Angaben zum Autor

Dr.-Ing. ETH **Christoph Eck**, dipl. El.-Ing. Universität Bremen, mit Nachdiplomstudium (NDS) Informationstechnik und Doktorat an der ETH Zürich, ist Geschäftsführer der Firma Aeroscout GmbH und in Teilzeit Dozent für Regelungstechnik an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur, 6048 Horw.

Aeroscout GmbH, 6280 Hochdorf, eck@aeroscout.ch