UNTERSUCHUNGEN ZUM EINSATZ VON UAVs BEI DER LAWINENRETTUNG

M. Meiboom*, F. Andert
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Flugsystemtechnik
38108 Braunschweig

S. Batzdorfer
Technische Universität Braunschweig
Institut für Flugführung
38108 Braunschweig

H. Schulz, W. Inninger
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik
Projektzentrum Verkehr, Mobilität und Umwelt
83209 Prien am Chiemsee

A. Rieser
proTime GmbH
83209 Prien am Chiemsee

Zusammenfassung

Unbemannte Luftfahrzeuge (UAVs) sind für den Einsatz in Katastrophenszenarien interessant. Für zukünftige Einsätze in verschiedenen Szenarien entwickelt das DLR-Institut für Flugsystemtechnik Technologien und untersucht Anwendungen auf ihre Machbarkeit. Die hier vorgestellte Anwendung ist die schnelle und genaue Ortung von Lawinenopfern in alpinem Gelände zur Unterstützung der Rettungskräfte. Dabei werden Funksignale bei der Lawinenverschüttetensuche (LVS) von LVS-Geräten detektiert und geortet; solche Geräte werden von vielen Personen bei bestimmten Wintersportarten verwendet. In der vorgestellten Kooperation wird die Machbarkeit der Ortung aus einem kleinen UAV heraus untersucht. Neben den Hintergründen zur satellitengestützten und weitestgehend automatisierten Ortung von Lawinenopfern demonstriert diese Arbeit die Detektion von LVS-Geräten aus einem unbemannten Hubschrauber heraus. Anhand der Flugversuche kann einerseits die Machbarkeit der UAV-gestützten Lawinenverschütteten-Ortung gezeigt werden, andererseits werden auch offene Probleme wie eine verminderte Detektionsreichweite erkannt. Damit wird der Grundstein für die weitere Forschung in diesem Bereich gelegt. Zukünftige UAV-Einsätze könnten somit die Suche nach Verschütteten beschleunigen und damit deren Überlebenswahrscheinlichkeit erhöhen.

1. EINLEITUNG

Mehr als 100 Menschen verunglücken tödlich bei Skiwanderungen und anderen Wintersportarten durch Lawinenkatastrophen in den Alpen pro Jahr [1]. Sehr oft missglückt die Befreiung aus dem Schnee aus eigener Kraft aufgrund von fehlender Orientierung, Schneelast, Bewusstlosigkeit oder Verletzungen, so dass unmittelbar Erfrierung oder insbesondere Erstickung droht. Die Überlebenswahrscheinlichkeit von Verschütteten hängt damit maßgeblich von der Zeitdauer bis zur Bergung ab, was ein möglichst schnelles Auffinden von Personen unterhalb der Schneedecke erfordert. Statistische Auswertungen zeigen, dass die Überlebenschance für Verschüttete nach 10 bis 20 Minuten drastisch sinkt (Abb. 1) [2]. Die Bergungsdauer ist maßgeblich abhängig von der Größe des Lawinenfeldes und dem Vorwissen der Suchenden über eventuelle Verschüttungspositionen. Nach der Ortung beträgt die Befreiungsdauer bei einer Schneetiefe von 2 Metern ca. 10 bis 20 Minuten [3]. Daher müssen die ggf. bereits vor Ort befindlichen Personen mit der Suche nach Vermissten beginnen und damit die Bergrettung unterstützen.

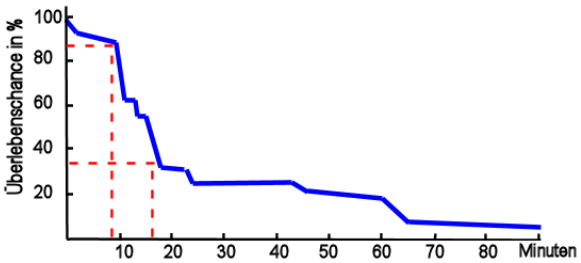

BILD 1: Überlebenschancen bei Verschüttung [16].

Zur schnellen Suche der Verschütteten wurden in den 70ern die ersten tragbaren LVS-Geräte entwickelt [5] (siehe Bild 2). Die Geräte werden im eingeschalteten Zustand am Körper oder in der Kleidung getragen und senden ein lokalisierbares Funksignal aus. Im Katastrophenfall können nicht verunglückte Personen die handelsüblichen Geräte in einen Such-Modus zum Signal-

*Kontakt: Martin Meiboom, e-mail: martin.meiboom@dlr.de, Tel.: +49 (0)531 295 2701. Präsentiert auf dem 62. Deutschen Luft-und Raumfahrtkongress 2013, Stuttgart, Deutschland.

BILD 2: Ein handelsübliches LVS-Gerät für Wintersportler.

empfang umschalten, wobei je nach Signalstärke, d.h. Entfernung zum Opfer, ein akustisches Signal bzw. ein optisches Signal ausgegeben wird. Die Reichweite beträgt dabei etwa 50 m [6].

Die manuelle Suche nach Signalquellen erfordert jedoch einiges an Übung sowie Zeit und Kraft. Zusätzlich birgt es die Gefahr von einer Folgelawine begraben zu werden. Da sich hier die LVS-Geräte im Such-Modus befinden, wird eine Ortung der verschütteten Ersthelfer erheblich erschwert. Die optimierte Suche von Lawinenopfern und Entwicklung von neuen Verfahren ist daher ein aktuelles Forschungsthema.

Unter Leitung des Fraunhofer IML Prien erfolgt in Zusammenarbeit mit der proTime GmbH im Rahmen eines Forschungsvorhabens aktuell die Entwicklung des *Galileo-LawinenFons*. Dieses System dient zur Lokalisierung von verschütteten LVS-Geräten via Smartphones [15]. Hierbei werden Smartphones um die Such- und Sendefunktion eines LVS-Gerätes ergänzt. Mittels der Galileo-LawinenFon-App wird über eigens entwickelte Lokalisierungsalgorithmen die Lage des verschütteten LVS-Gerätes berechnet und dem Suchenden am Smartphonedisplay angezeigt - dies bewirkt u.a. einen effizienteren Suchvorgang. Zudem ermöglicht die kombinierte Nutzung von Multi-GNSS (GPS, GLONASS und Galileo) und Intertialsensorik eine höhere Lokalisierungsgenauigkeit bei der Positionsbestimmung des verschütteten LVS-Gerätes.

Trotz der beschriebenen Entwicklungen muss eine intensive Begehung des Lawinen-Geländes von den Ersthelfern oder Rettungskräften erfolgen, wobei dies aufgrund der zu erwartenden Schneemengen sehr gefährlich, mühselig und langsam ist. Zwar ermöglicht eine strategische Planung der zu begehenden Wege (üblich sind Grob- und Feinortung) eine Reduzierung des Suchaufwandes, dennoch stellt sich die Frage nach effektiven Methoden, um die Suche weiter zu beschleunigen. Hier bietet sich die Nutzung von kleinen fliegenden Plattformen an, von denen aus die LVS-Signaldetektion erfolgt. Mit Hilfe von UAVs wäre es möglich, durch genaues und schnelles Abfliegen von Suchmustern wesentliche Zeitersparnis zu gewährleisten. Dieses betrifft vor allem den Bereich der Signalsuche bis hin zur Feinsuche. Bei ausreichender Verfügbarkeit, z.B. an den Bergstationen, kann ein UAV beispielsweise unmittelbar nach dem Notruf ins Zielgebiet fliegen und die Suche bereits vor Eintreffen der Rettungskräfte absolvieren. Da einige Wintersportler auch selbst kleine Fluggeräte vor allem für Videoaufnahmen mitführen, hat die Technik dort ebenfalls einen Nutzen im Katastrophenfall.

Im Folgenden soll daher die Machbarkeit der UAV-gestützten Lawinenrettung untersucht werden. Ziel dieses Artikels ist die Demonstration der Ortung eines LVS-Geräts aus einem UAV heraus. Bevor dies in Abschnitt 3.2 gezeigt wird, beschreibt der Artikel zunächst kurz den technisch relevanten Hintergrund der LVS-Geräte sowie die zu erwartenden Schwierigkeiten bei der gemeinsamen Nutzung mit UAVs. Im Rahmen von Flugversuchen wird anschließend untersucht, inwieweit die verwendeten UAVs die LVS-Gerätedetektion störend beeinflussen und ob unter diesen Bedingungen eine Detektion gelingt.

2. DETEKTION UND ORTUNG VON LVS

Im Folgenden werden die Begriffe *LVS-Empfänger* (LVS-Gerät im Such-Modus) und *Sender* benutzt, um LVS-Geräten klare Funktionen im Testaufbau zuzuordnen. Der aktuelle Entwicklungsstand des LVS-Empfängers vom Fraunhofer IML Prien und der proTime GmbH wird als *LVS-Ortungssystem* bezeichnet.

Ein aktiver LVS-Sender emittiert die nicht moduliert Frequenz von 457 kHz. Die Frequenz ist dabei international für LVS-Geräte standardisiert. Der LVS-Empfänger analysiert die magnetische Komponente (H-Feld) des elektromagnetischen Feldes, welche sich durch gute Transmission durch Schnee und geringe Beeinflussung von Ausrüstungsgegenständen wie Skier oder Schaufeln auszeichnet.

Um Energie zu sparen, sendet der LVS-Sender jeweils 100 - 300 ms und deaktiviert sich danach für 700 - 900 ms, woraus sich eine Periodendauer von einer Sekunde ergibt. Diese hat zusätzlich den Vorteil bei einer Mehrfachverschüttung unterschiedliche Signale detektieren zu können.

Dabei sind fast alle Mittelklassegeräte mit drei Antennen ausgelegt und können im Digital- oder Analogmodus verwendet werden [6]. Die Geräte mit drei orthogonalen Antennen (3D-Geräte) ermöglichen eine einfachere Suche, da Multimax- und -minima nicht auftreten können. Das Pulssignal kann von einem Empfänger über induktive Antennen aufgenommen werden. Bei der Suche ohne 3D-Gerät existiert eine hohe Kopplung zwischen der relativen Lage von zwei Geräten zueinander und der detektierten Signalstärke. Um – auch ohne Kenntnis über die Lage der LVS-Sender von Verschütteten – eine optimale Ortung bei Verwendung ei-

nes 1D- oder 2D-Gerätes zu gewähren, haben sich unterschiedliche Suchverfahren etabliert, die vom Suchenden trainiert werden müssen. Den signifikanten Einfluss der Lage des zu suchenden Gerätes und die Prinzipien sind in [7], [8] näher erläutert. Da das aktuelle Entwicklungsstand des LVS-Ortungssystems nur eine Antenne besitzt, ist für die spätere Auswertung festzuhalten, dass aufgrund des orthogonal orientierten Sender – bei gleichbleibenden geraden Anflug – zwei Maxima, kurz vor, und ein Minima über dem LVS-Sender zu erwarten sind, siehe Abb. 3.

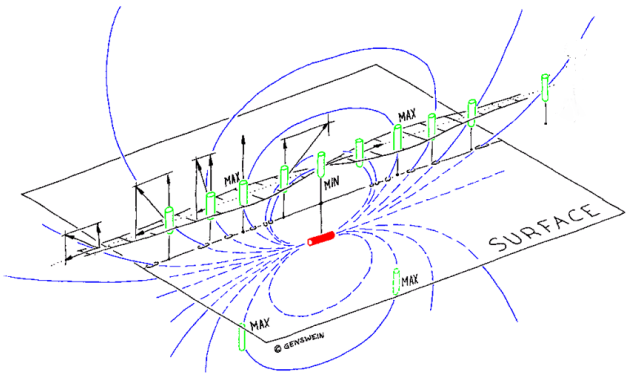

BILD 3: Multi-Maxima bei der LVS-Geräteortung. Quelle: Manuel Genswein, Schweiz.

Die emittierten Signale sind sehr schwach, so dass eine lange Betriebsdauer bei niedrigen Temperaturen garantiert werden kann. Dabei trägt die lange Nutzungsdauer vor allem zur Gewährleistung eines funktionierenden Systems bei, minimiert somit die Verantwortung des Nutzers und verringert die Hemmschwelle bei der Anschaffung. Aufgrund des schwachen Signals entstehen allerdings Probleme durch elektromagnetische Interferenzen bei der Ortung. Daher wird bei der Suche darauf hingewiesen, Handys und andere elektronischen Geräte abzuschalten. Um trotz Elektromotor und Flugelektronik des UAV ein Signal zu detektieren, wurde das entwickelte LVS-Ortungssystem eingesetzt. Hierbei lässt sich nach einer Vorverarbeitung des Signals eine Rauschschwelle im Leistungsdichtespektrum definieren. Ist diese überschritten, gilt ein Signal als detektiert. Durch die vom Hersteller festgelegte Signalstärke der Sendeeinheit verringert eine hohe Rauschschwelle die Reichweite bei der Signale detektiert werden können, jedoch auch die Wahrscheinlichkeit von Fehlmessungen. Ist ein Signal detektiert, zeichnet die integrierte Software des Systems diese Impulse auf und gibt zusätzlich die Dauer in Millisekunden seit Systeminitialisierung an.

In der aktuellen Forschung wird vor allem die Integration von Mobilfunknetzen und GNSS (Global Navigation Satellite System) zur unterstützenden Ortung untersucht [9]. Beim Forschungsprojekt „Galileo SAR Lawine“ des Fraunhofer IML Prien und der proTime GmbH wurde gezeigt, dass durch Verwendung von zusätzlicher Sensorik und Hardwareausstattung, Multi-GNSS sowie eigens entwickelten Ortungsalgorithmen die Suchzeit aufgrund der hochgenauen Lokalisierung und der direkten Führung zum verschütteten LVS-Gerät um bis zu 40% reduziert werden kann. Diese Zeitersparnis wird durch die Reduzierung der Fein- und Punktortung sowie der Sondierungsphase erreicht. Belegbare Ergebnisse haben eine dreidimensionale Genauigkeit von <10 cm (Richtung, Entfernung, Tiefe) bei der Lokalisierung von verschütteten LVS-Geräten aufgezeigt [10].

Die Lage- und Positionssensoren sind bei UAVs schon integriert und könnten in späteren Projekten als Vorhanden angenommen werden.

3. VERSUCHE UND BEWERTUNG

Bei der Flugversuchsdurchführung soll gezeigt werden, inwieweit die LVS-Gerätedetektion und Entfernungsmessung mit bisher entwickelten LVS-Ortungssystem aus einem UAV heraus gelingt. Flugversuchsträger sind dabei der unbemannte Hubschrauber ARTIS (Abb. 4) des DLR-Instituts für Flugsystemtechnik [11] sowie ein Ascending Technologies Quadrocopter [12]. Bei den Flugversuchsträgern ist als Aufzeichnungsgerät der Flugbahn und Lage ein GPS/INS-Navigationsgerät der TU-Braunschweig montiert [13]. Bei den Hubschrauberversuchen wird das Ortungssystem vorne an der Nutzlastschiene montiert, siehe Abb. 5. Um EMV (elektromagnetische Verträglichkeit) mit der Hubschrauberelektronik zu gewährleisten ist oberhalb des LVS-Geräts eine Abschirmfolie aus Kupfer angebracht. Das LVS-Ortungssystem befindet sich in ca. 15 cm Abstand vom Navigationsgerät und weiteren elektronischen Komponenten und ist ca. 30 cm vom Antriebsmotor entfernt. Beim Quadrokopter wird das Ortungssystem unterhalb des Landegestells angebracht und befindet sich somit ca. 20 cm zu den Motoren und nur wenige Zentimeter zu anderen elektronischen Komponenten.

BILD 4: Flugversuchsträger ARTIS im alpinen Gelände.

BILD 5: Montage des LVS-Ortungssystems am Hubschrauber vor den Flugversuchen.

3.1. Rausch- und Signalmessungen

Es erfolgen zunächst Untersuchungen, bei denen die prinzipielle Detektierbarkeit von LVS-Gerätesignalen geprüft wird. Um den Einfluss der Störquellen zu detektieren, wird die Amplitude (proportionales Maß für den magnetischen Fluss [Wb]) des Grundrauschens im 457-kHz-Bereich gemessen.

Dazu werden die Amplituden bei stehendem Fluggerät mit aus- und eingeschaltetem Motor sowie im Schwebeflug mit und ohne Abschirmmaßnahmen aufgezeichnet. Es wird das Grundrauschen bei folgenden Umgebungsbedingungen ermittelt:

1. keine externe Störung (Fluggeräte und Bordelektronik ausgeschaltet),
2. Hubschrauber eingeschaltet (nur Bordrechner und Funkfernbedienung), Motor aus,
3. Hubschrauber im Schwebeflug, keine zusätzliche Abschirmung,
4. Hubschrauber im Schwebeflug, Abschirmung der Leistungselektronik,
5. Quadrokopter eingeschaltet inkl. Motoren, am Boden schwebend.

Die Ergebnisse der Umgebungsbedingungen 1–5 finden sich in Bild 6. Dabei zeigen sich signifikante Einflüsse des Hubschraubers, vor allem des Motors, auf die Signalempfangsqualität (2,3). Die Amplitude erhöht sich hierbei von 1533 auf 13091. Jedoch sind durch die Abschirmung von Motorregler und Avionik positive Effekte messbar (4). Das Rauschsignal im Schwebeflug wurde dabei geringfügig auf 11640 gesenkt. Einen sehr starken negativen Einfluss wird beim eingeschalteten Quadrokopter beobachtet (5). Dies ist vermutlich auf die vier Motoren und auf den sehr geringen Abstand zwischen Motoren und LVS-Ortungssystem sowie die fehlende zusätzliche Abschirmung zurückzuführen.

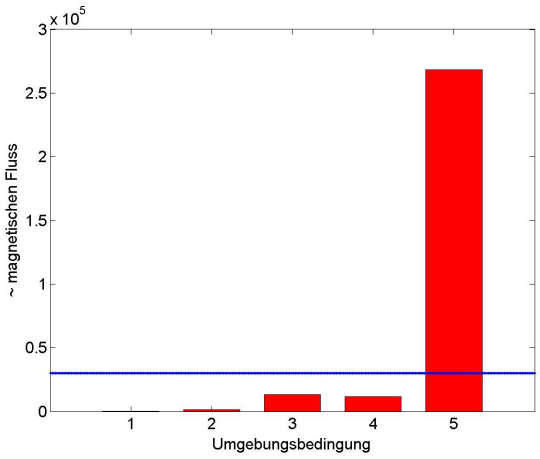

BILD 6: Gemessenes Grundrauschen bei unterschiedlichen Störeinflüssen sowie die blau eingezeichnete Rauschgrenze von 30 000.

Vor den Flugversuchen wird zunächst eine Handmessung durchgeführt. Dabei wird die Amplitude (LVS-Gerätesignal) mit dem LVS-Ortungssystem ohne externe Störquellen ermittelt. Jeder empfangende Impuls (mit Zeitpunkt t_{signal}) wird auf den Zeitpunkt des ersten Impulses (t_0) referenziert. Es erfolgt eine etwa 20 m lange geradlinige Bewegung, die über den auf dem Boden befindlichen LVS-Sender, welcher in der Mitte dieser Wegstrecke positioniert ist, führt. Die Amplituden der dabei empfangenen Signale sind als Balkendiagramm in Abb. 7 verzeichnet.

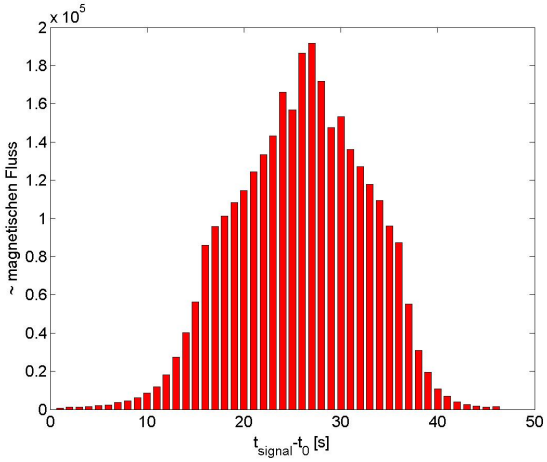

BILD 7: Handmessung mit dem LVS-Ortungssystem. Das Diagramm zeigt den zeitlichen Verlauf der gemessenen Amplituden der Signalpulse bei einer geradlinigen Bewegung über den LVS-Sender.

Bei den Messungen konnten bei Annäherung die Signalpulse des LVS-Senders erfolgreich detektiert werden. Es wurden dabei Amplituden von bis zu etwa 190 000 in unmittelbarer Nähe zum LVS-Sender gemessen. Bei Entfernungen von etwa 5 m ergeben sich Am-

plituden von etwa 50 000. Bei 10 m Abstand wurden Amplituden von etwa 500 gemessen.

Der Vergleich dieser Amplituden mit dem Grundrauschen lässt Rückschlüsse über eine mögliche LVS-Signaldetektion zu, was in weiteren Versuchen überprüft werden soll. Erwartet wird eine erfolgreiche Detektion mit dem Hubschrauber (Grundrauschen inkl. Abschirmung etwa bei 11 640), jedoch kein Erfolg mit dem Quadrokopter, da das Grundrauschen mit über 250 000 die möglichen Amplituden der tatsächlichen LVS-Gerätesignale übertrifft. Daher werden in dieser Konfiguration keine weiteren Flugversuche mit dem Quadrokopter durchgeführt.

Zur eindeutigen und automatischen Unterscheidung von LVS-Gerätesignalen und Grundrauschen wird bei den folgenden Hubschrauberversuchen eine Rauschschwelle von 30 000 festgelegt, ab der die Signale aufgezeichnet und ausgewertet werden, siehe eingezeichnete Rauschgrenze in Abb. 6. Damit erfolgt eine automatische Segmentierung des Signals, wobei die über der Rauschschwelle liegenden Signalpulse als korrekte Detektion des LVS-Senders interpretiert werden.

3.2. Flugversuche

Im Vorfeld aller Flugversuche wurde sichergestellt, dass durch die montierten Komponenten und den LVS-Sender der Betrieb des Hubschraubers durch manuelle Steuerung nicht gefährdet ist. Hier konnten bei Reichweitentests mit eingeschaltetem Navigationsrechner, LVS-Sender und LVS-Ortungssystem keine Beeinträchtigung der verwendeten 2,4 GHz RC-Funkverbindung und weiteren elektronischen Komponenten festgestellt werden.

Wie in Bild 8 erkennbar, wird ein konstanter gerader Anflug, analog zur manuellen Begehung, durchgeführt. Hierbei verändert sich die relative Lage zwischen Sender und Empfänger nur minimal, so dass eine Kompensation der Feldstärkeänderung aufgrund der Lage nicht nötig ist.

BILD 8: Anflug auf das LVS (im Bild markiert) zum Test der Signaldetekton.

Bei den eigentlichen Versuchen zur LVS-Gerätedetektion wird zunächst ein LVS-Sender auf dem Flugfeld platziert und dessen Position mit GPS vermessen. Anschließend werden mehrere Anflüge in unterschiedlichen Geschwindigkeiten mit dem ARTIS-Hubschrauber durchgeführt. Die durchschnittliche Fluggeschwindigkeit liegt dabei während der Überflugphasen entlang der 20 m langen Linie zwischen 0,25 m/s und 3 m/s. Während der Flüge erfolgt die Datenaufzeichnung zur anschließenden Auswertung. Wie in Abbildung 8 erkennbar, ist die gewünschte Flugbahn am Boden durch Steine markiert. Die Abbildungen 9 bis 11 zeigen den Signalempfang (Balken) und die anhand der Signale algorithmisch bestimmten Entfernungen (Punkte) bei den drei durchgeführten Überflügen mit unterschiedlichen Fluggeschwindigkeiten.

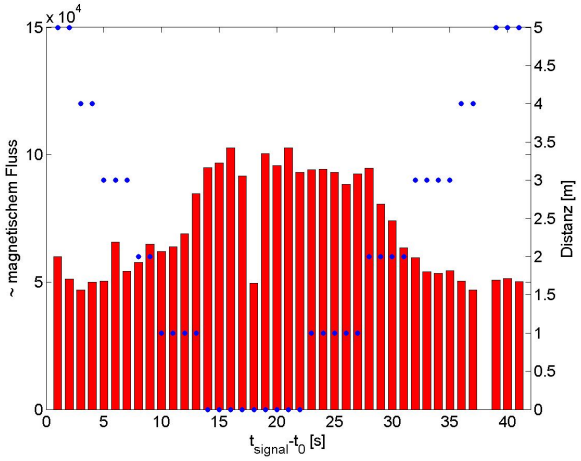

BILD 9: Ermittelte Amplituden und Entfernungen des LVS-Senders bei einem Überflug mit etwa 0,25 m/s und Schwebeflug über dem LVS-Sender in ca. 1,5 m Höhe.

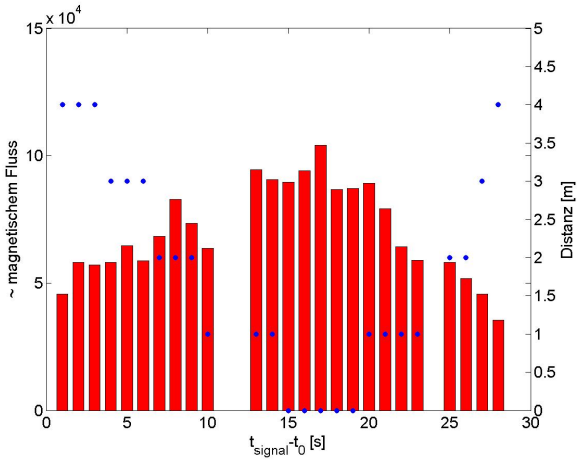

BILD 10: Ermittelte Amplituden und Entfernungen des LVS-Senders bei einem Überflug mit etwa 0,4 m/s über dem LVS-Sender in ca. 1,5 m Höhe.

Beim ersten Überflug (Abb. 9) wurden 40 Signale detektiert. Hier ist direkt über dem Gerät, aufgrund der

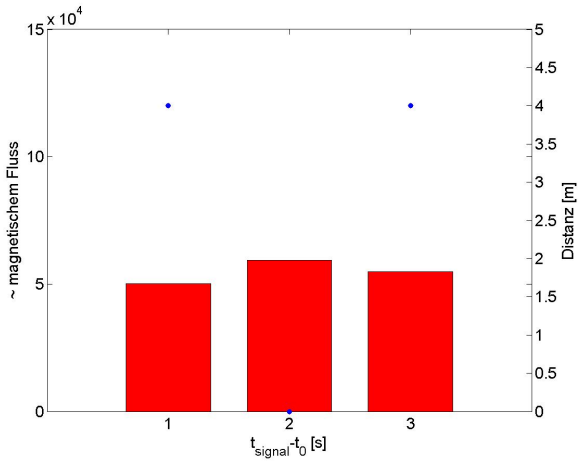

BILD 11: Ermittelte Amplituden und Entfernungen des LVS-Senders bei einem Überflug mit etwa 3 m/s über dem LVS-Sender in ca. 1,5 m Höhe.

Orthogonalität der Sende- und Ortungseinheit, ein Minimum messbar. Dabei wurden aus den Signalen Entfernungen von bis zu 5 m zum LVS-Sender ermittelt. Bei größeren Entfernungen konnten jedoch keine Signale oberhalb der Rauschschwelle gemessen werden. Zusätzlich ist sichtbar, dass der Impuls bei Sekunde 38 nicht detektiert wurde. Beim zweiten Anflug (Abb. 10) erfolgte eine Detektion von 25 Pulsen bei gemessenen Entfernungen von bis zu 4 m. Hier konnten drei erwartete Signale nicht detektiert werden. Selbst bei einem schnelleren Anflug (Abb. 11) konnten noch drei Signalpulse bei Entfernungen von bis zu 4 m erfolgreich empfangen werden.

3.3. Bewertung der Ergebnisse

Die Rauschanalyse hat ergeben, dass für den Hubschrauber bei eingeschalteter Elektronik ein signifikant erhöhtes Grundrauschen existiert. Hierbei zeigte sich ein besonders hoher Einfluss der Leistungselektronik im Gegensatz zu den weiteren verwendeten Komponenten wie Bordrechnern und Funkfernbedienung. Dennoch ist das Rauschen in einem akzeptablen Bereich, um ein LVS-Signal erfolgreich zu detektieren. Daraus ergibt sich eine Reichweitenverringerung auf etwa 5 m. Zusätzlich zeigte sich, dass der Quadrocopter eine zu große Störquelle in der verwendeten Konfiguration darstellt. Vermutete Ursache sind die verwendeten Motoren sowie die geringe Entfernung zur Leistungselektronik.

Die Flugversuche haben gezeigt, dass bei unterschiedlichen Fluggeschwindigkeiten eine Detektion erfolgreich ist. Bei maximalen Fluggeschwindigkeiten von 3 m/s könnten noch drei Signalpulse detektiert werden. Damit ist eine automatische Klassifikation der Impulse als LVS-Signalquelle noch möglich, da bei mehreren Pulsen mit dem beobachteten zeitlichen Abstand eine Fehlmessung unwahrscheinlich ist.

4. FAZIT UND AUSBLICK

Die Arbeit liefert die Grundlage zur Signaldetektion unter der Berücksichtigung von EMV des UAVs. Folglich können für das System Maßnahmen zur Verbesserung von Signal-Rausch-Verhältnis, Hardware und algorithmische Ortungsverbesserungen angestrebt werden.

In der Arbeit wird gezeigt, dass mittels des aktuellen Arbeitsstands des entwickelten Ortungssystems eine Detektion von LVS-Signalen am UAV möglich ist. Dabei ermöglicht die UAV-Suche Geschwindigkeitsvorteile bei der Suche nach Verschütteten und verringert die Zeit, in der sich Suchende der Gefahr von Folgelawinen aussetzen müssen.

Durch GNSS gestützte Pfadplanung mittels UAV kann zukünftig eine schnellere Suche durch optimales Abfliegen von Suchmustern ermöglicht werden. Des Weiteren wird die Abspeicherung signifikanter Signalstärken sowie Position und Lage möglich. Diese lassen sich algorithmisch auswerten und zur Feldmodellierung und damit zur besseren Positionsermittlung des LVS-Senders nutzen. Bei erfolgreicher Ortung wäre die Übermittlung der globalen Position des Verschütten durch Kombination von LVS-Signaldetektion und GNSS möglich. Alternativ ist auch das Abwerfen von Markierungen zur einfacheren Bergung denkbar. Neben dem beschriebenen LVS-System kann auch eine Analyse zu weiteren Systemen wie RECCO [14] durchgeführt werden.

Neben den zu verbessernden technischen Aspekten zur LVS-Detektion (insb. Reichweite) ist die tatsächliche Anwendbarkeit eines für die LVS-Suche zu verwendenden UAVs von großer Bedeutung. Dazu zählen eine einfache Bedienbarkeit, z.B. mit stabilisierenden Flugreglern oder höheren Automatismen wie Wegpunktnavigation und Kollisionsvermeidung, sowie die Umweltrobustheit des UAVs bei extremen Witterungsbedingungen.

Daher werden derzeit weitere Untersuchungen zur Machbarkeit des Einsatzes von UAVs in Lawinengebieten angestrebt.

DANKSAGUNG

Diese Arbeit ist Teil der Forschungsprojekte *NExt UAV* (Navigation zur Exploration tieffliegender UAV in Katastrophenszenarien) und *Galileo-LawinenFon*. Die Vorhaben werden gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) durch das Raumfahrtmanagement des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) unter den Förderkennzeichen 50 NA 1002, 50 NA 1003 und 50 NA 0719.

Besonderen Dank auch an den Modellflugpiloten Michael Kislat für die Durchführung der Flugversuche.

LITERATUR

[1] H. Etter, R. Meister, and D. Atkins, “ICAR and its importance in avalanche rescure,” in *Proc. of the International Snow Science Workshop*, 2004.

[2] M. Falk and H. Brugger, “Avalanche survival chances,” *Nature*, vol. 368, no. 21, 1994.

[3] M. Stadler, *Skitouren - Wissen und Praxis: Ausrüstung - Technik - Sicherheit*. Bergverlag Rother, 2012.

[4] W. Bergter and U. Bauer, "Anleitung zur Verschüttetensuche mit LVS-Gerät. url: http://www.bergfreunde-muenchen.de/lawine/lvs-ortung.pdf."

[5] W. Fritsche, "Elektronische Messungen an Schnee und Lawinen," *Interpraevent*, vol. 4, pp. 319–336, 1980.

[6] "Übersicht LVS Geräte Winter 2010/11. url: http://snowout.de/2010/10/30/lvs-gerate-2010-11/."

[7] M. Genswein, "Feinorten im Kreis – Ein effizientes und zuverlässiges System für die genaue Lokalisierung von Tiefverschütteten. url: http://www.genswein.ch/downloads/feinorten%20im%20kreis.pdf," 2004.

[8] "Advanced avalanche safety course manual. url: http://avalancheinfo.net/fixed/weather/glossaries/advanced/advdefs/searchpinpoint.html," 1998.

[9] R. Olmedo, et al., "SICRA: a GNSS Cooperative System for Avalanche Rescue," in *6th ESA Workshop on Satellite Navigation Technologies and European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing (NAVITEC)*, 2012.

[10] "Galileo SAR Lawine Projektseite. url: http://www.sar-lawine.de."

[11] F. Adolf, F. Andert, S. Lorenz, L. Goormann, and J. Dittrich, "An unmanned helicopter for autonomous flights in urban terrain," in *Advances in Robotics Research*, T. Kröger and F. M. Wahl, Eds. Berlin: Springer, 2009, pp. 275–285.

[12] "Ascending Technologies GmbH. url: http://www.asctec.de."

[13] M. Becker, A. Schwithal, S. Batzdorfer, U. Bestmann, P. Hecker, J. Schattenberg, T. Lang, F. Andert, and J. Dittrich, "NExt UAV: Positionierung in UAV/UGV Schwärmen mit low cost GNSS, INS und bildbasierten Verfahren für Explorationsaufgaben," in *DGON PosNav ITS*, 2011.

[14] "RECCO Avalanche rescue technology. url: http://www.recco.com."

[15] "Galileo-LawinenFon Projektseite. url: http://www.lawinenfon.eu."

[16] H. Brugger, B. Durrer, L. Adler-Kastner, M. Falk, F. Tschirky, "Field management of avalanche victims," 2001.